

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：16101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710059

研究課題名(和文) 都市内運河における市民主体型水質改善システム構築に関する研究

研究課題名(英文) Development of water purification system with marine biomass and civic collaboration for eutrophic canal in urban area

研究代表者

山中 亮一 (YAMANAKA, Ryoichi)

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・講師

研究者番号：50361879

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：尼崎運河での市民協働型水質浄化活動に関する研究として、ベストミックス型生物浄化技術の開発、活動の効果、環境学習の波及効果としての参画意欲とその理由を研究した。その結果、窒素浄化率は最大で2013年夏季に約69%であった。また、夜間の浄化(光合成)励起のためのLED照明の適用方法について明らかにした。さらに、人工干潟は、汚濁化の系となることを明らかにし、改善方法を提案した。環境学習の波及効果は、児童から報告を受けた保護者の約37%の参画意欲が高まり、その理由として環境改善以外にも、子どもと一緒に活動できることが挙げられ、尼崎運河水質浄化施設には教育資源としての価値もあることが分かった。

研究成果の概要(英文)：New type of water purification facility was constructed in Amagasaki Canal in 2012. The facility was consisted with three type purification technologies and attendance of people who picked up nutrient with marine algae and used it for compost. We evaluated its performance and ESD's effect to kid's parents. As a result, we observed water purification capacity rate was 69% of nitrogen in summer daytime. We also carried out a field experiment for increasing purification capacity in nighttime using LED and we estimate the distance of installation interval of LED in algae channel. ESD was very effective and 37% of children's parents changed their mind to join the purification activities. According to questionnaire, there are two reasons why the parents changed their mind; effect of nutrient pick up and the activity regarded as a good chance to develop a parental relationship. This results mean the facility have a function not only water purification but also develop good human relationship.

研究分野：複合的新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：運河再生 生物浄化技術 市民協働 参画意欲 海産バイオマス コウロエンカワヒバリガイ 人工干潟 LED

1. 研究開始当初の背景

(1) 沿岸域の環境は、人間活動の影響を受けやすく、人々の海との関わり方によって大きく変化する。特に大都市近傍の沿岸域は、これまでに多大な人間活動の負の遺産を引き受けてきており、現在も汚濁が著しく、生態系は劣化している。これらの対策として、これまで水質改善施策(総量規制や干潟・浅場の再生事業)とともに、市民協働による海辺再生活動が行なわれている。しかし、これらは一時的な成果は挙げているものの、様々な課題を抱えており、根本解決に繋がる継続性のある新たな方法が必要となっている。そこで改善方法のパッケージである「市民主体型水質改善システム」を提案し、尼崎運河において研究を進めてきた。

(2) 2007年より本研究の研究フィールドである尼崎運河におけるシーブルー事業に参画し、兵庫県から現地実験施設の使用許可を受け、水質改善技術の開発と水質改善活動の試行を担当してきた。水質改善技術では、生物の浄化機能を利用した市民でも維持管理が可能な水質改善技術を開発目標としており、これまで現地実験を行い、技術の現地適用方法を明らかにした。また、水質改善活動では、周辺の小中学校を対象に水質改善技術を題材とした環境教育を実施した。平成21年度は4校(約200名)を対象に行い、平成22年度はそれ以上の規模で実施した。これらの成果に基づき兵庫県は尼崎運河に水質改善機能と環境学習機能を有した施設の新設を計画し、申請時点で基本設計の段階であった(平成24年3月竣工)。この施設の狙いは、「水質改善とともに、市民に水質改善技術を分かりやすく紹介し、理解を広め、社会と水質改善との接点を創り、人々の水質改善活動への参加を促す機会を提供することと、これにより尼崎運河全域の水質改善を期待する社会的要請を高めること」にある。

しかし、これを実現し、さらに「市民主体型水質改善システム」を完成させるためには、まだ幾つかの課題が存在した。水質改善技術では現地適用し得るところまで開発が進められていたものの、水質改善機能の効率化(特に夜間における機能低下)と効果的な維持管理方法は明らかではなく、「水質改善技術の確立」が課題として残されていた。水質改善活動では、効果的に関心を高める方法と活動の継続性を担保する「主体性」の喚起手法は明らかではなく、「水質改善活動の継続性」が課題であった。

2. 研究の目的

そこで、本研究では1.で述べた課題を克服し、水質改善技術とその機能向上方法を確立し、この技術を用いた人々の主体的な水質改善活動を実現する方法を明らかにすることを研究目的とした。

3. 研究の方法

(1) 「水質改善技術の確立」に関する研究
平成24年に竣工した水質浄化施設において、以下の方法で研究を行った。

① 栄養塩回収水路：海水を流下させた小水路に自生する藻類による栄養塩固定技術を確立するため、通常運用時の浄化機能を現地調査で計測した。また、夜間に低下する藻類の水質改善機能を向上させるため、LED光の利用可能性と適用方法を実験により確かめた。

② 懸濁物除去水槽：優占二枚貝(コウロエンカワヒバリガイ)を利用した懸濁有機物の除去と溶存態栄養塩への変換技術による物質収支を実機において現地観測を行い、定量化した。

③ 人工干潟：人工浅場の環境変化を生物加入と底質からモニタリングした。また、アサリによる環境改善手法の適応性および、出現生物を基礎とする底質の維持管理方法について検討した。

(2) 「水質改善活動の継続性」に関する研究

① 尼崎市の環境学習事業に参画し、周辺の小学校に対する環境学習のコンテンツを制作し、環境学習会を実施した。そして、その効果をアンケート調査し、保護者への波及効果と環境改善活動に対する参加意向への影響因子について検討した。

4. 研究成果

(1) 水質浄化施設全体の浄化能

図1に三種類の水質浄化技術(懸濁物除去水槽、栄養塩回収水路、人工干潟)を連結した水質浄化施設の装置ごとの浄化能をまとめた図を示す。計測を行った2013年は猛暑で生物浄化には厳しい環境条件であり、特に底層水のアンモニア態窒素濃度が例年より高く、ORPも還元状態であったため、本結果は環境条件が厳しい時期での浄化能と見なすべきである。この結果によると、窒素量は流入量が152gN/d、流出量は48gN/dとなり、本施設は104gN/dの栄養塩固定能力があることが分かった。昼夜の違いでは、昼間の浄化率53.5%に比して、夜間は12.0%であり、改善の余地があることも分かった。

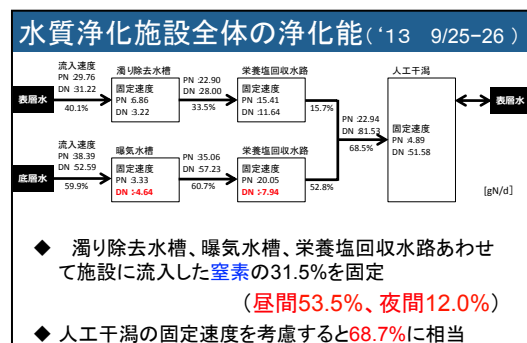


図1 水質浄化施設の浄化能 (2013 夏季)

次に、市民協働による水質浄化活動で取り上げた海藻に含有されていた窒素とリンの総量を図2に示す。市民協働によるこの水質浄化活動は年に2回程度実施した。結果によると、水路から集め取り上げた藻類と、懸濁物除去水槽に堆積する有機堆積物は、窒素とリンの両方において同程度の含有量を示し。この両者を取り上げることで、窒素は3.4 g N/d、リンは0.9 g P/dの浄化になることが分かった。尼崎運河に流入する事業所系の排水は窒素の含有量が多い一方、リンは少なく、事業所系排水に含有されるリンの総量をこの施設で浄化することを考えると、北堀運河で4.6機の浄化施設が必要であると見込まれた。

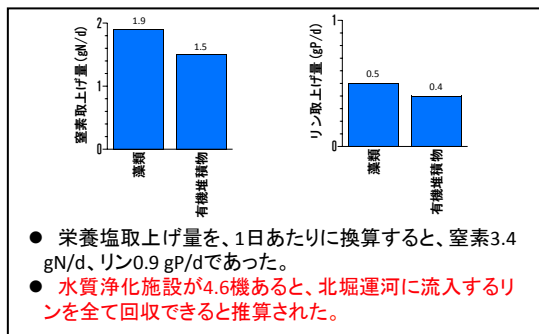


図2 バイオマス取りあげによる浄化量

(2) 栄養塩回収水路

竣工後の栄養塩回収水路における浄化能(栄養塩固定率)の経月変化を図3に示す。これを元に算出した年間の除去率(栄養塩固定率)は、図中に示すとおりで、底層水のほうが高かった。これは栄養塩含有量の差が主因であると考えられた。年間を通じ、秋季以降で浄化能が急減するのは、枯死した藻類からの栄養塩の回帰のためであり、夜間において、LED照明で照射、回帰する栄養塩を光合成で固定することを考え、実験を行った。

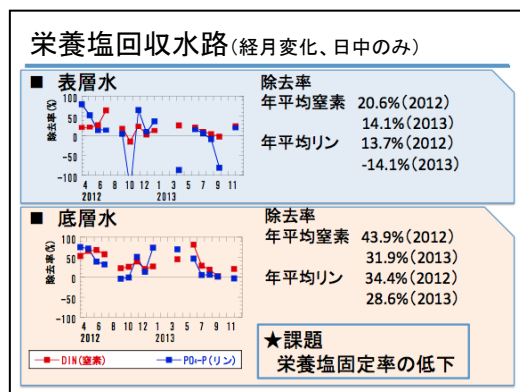


図3 栄養塩回収水路による浄化能の推移

実験は、まず、出現する藻類の種組成が異なる水路側面と底面から藻類を採取し、実験室にて環境条件を変えて培養し、生産速度を

計測した。その結果を図4に示す。水路の底面にて採取した藻類は光量子束密度が400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で最大を示し、市販のLED光源の光量で浄化能をよく発揮できる事がわかった。一方、水路側面に繁茂する緑藻は800 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で最大を示し、より光量の大きい光

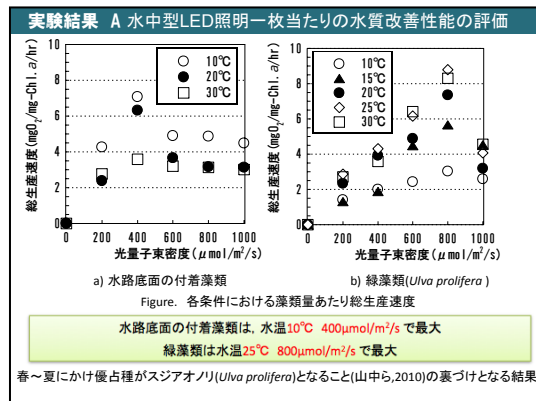


図4 LED照明による光合成量

この結果を基に、季節ごとのLED照明の水路への設置間隔を概算すると、図5のようになった。この結果では、夏季ではDO維持のためには0.18m間隔にしなければならず、厳しい結果であったが、水質浄化率が低下する秋季では0.78mと現実的であり、設置時期を限りLED照明を適用することで、本水質浄化施設の夜間における浄化能の低下を抑えることが可能である事が分かった。

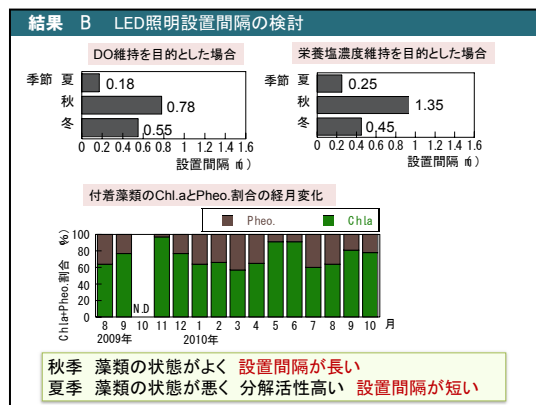


図5 汚濁量を回収するLED照明設置間隔

(3) 懸濁物除去水槽

優占二枚貝のコウロエンカワヒバリガイが付着した基盤材による懸濁物除去効果について、図6に竣工後の観測結果を示す。除去率は夏季に高く、秋季に急減し、コウロエンカワヒバリガイが斃死するパターンを繰り返した。これは、検討の結果、コウロエンカワヒバリガイの餓死によるもので、水槽への流入懸濁物の多い時期にコウロエンカワヒバリガイが成長し、流入懸濁物量が低下する秋季に餌不足に陥るためと分かった。

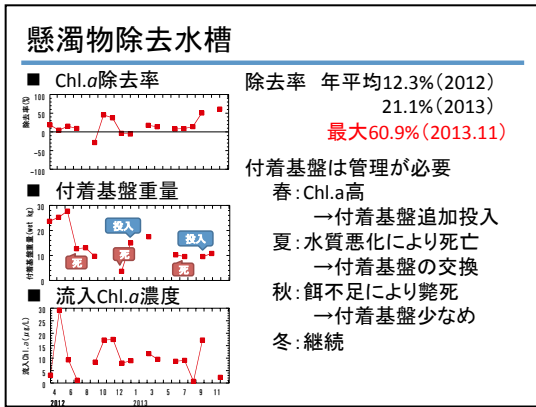


図6 懸濁物除去水槽の浄化能と環境条件

また、本水槽における、窒素循環プロセスを詳細に検討した。ここではその観測とモデル化による結果を図7に示す。これによると、コウロエンカワヒバリガイは水槽に流入した有機懸濁物 (PON) の40.3%を摂餌し、5.3%が有機堆積物となることがわかった。このため、沈殿する有機堆積物の管理が不可欠であることが分かった。

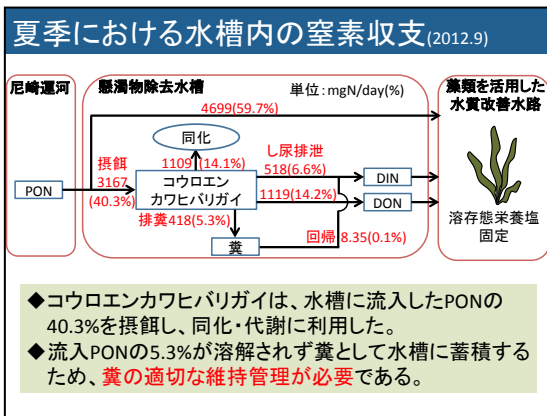


図7 懸濁物除去水槽内の物質輸送フロー

(4) 人工干潟

人工干潟は活動協議会の決定で、竣工後2年間は、経過観察を行うこととなり、その環境の推移について、現地調査を行った。

底質は、夏季に限られた地点で悪化した。その結果を図8に示す。竣工後、毎年7月頃に地盤高が最も高い地点と低い地点において、底質が悪化した。これは、地盤高が高い地点では、漂流してきた藻類が水位変化により漕き込まれて底質中に入り、そのまま腐敗するためであることがわかった。一方、地盤高が低い地点は、図9から分かる通り、コウロエンカワヒバリガイが密生するようになったため、管理の必要があると考えられた。また、アサリの生存実験を行ったところ、図10の通り、いずれの地点も生息に厳しい状況であり、その原因として、干出時間、圧密沈降が考えられた。

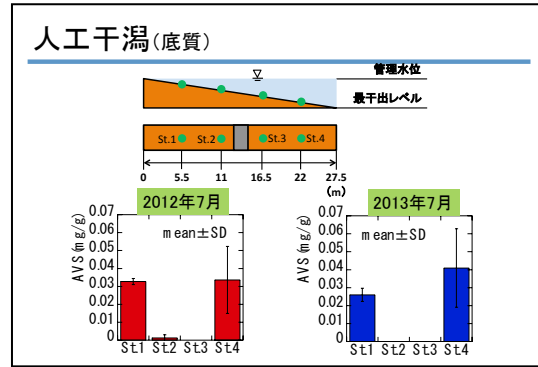


図8 人工干潟の底質

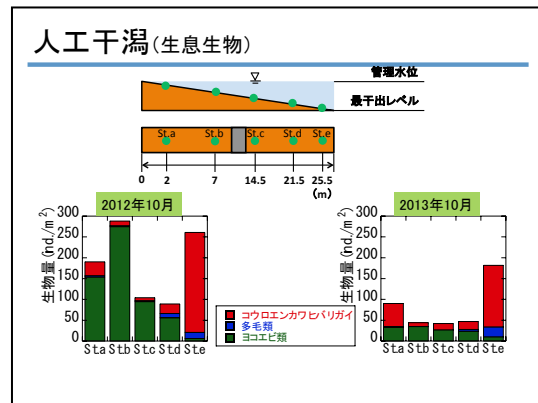


図9 人工干潟での出現生物

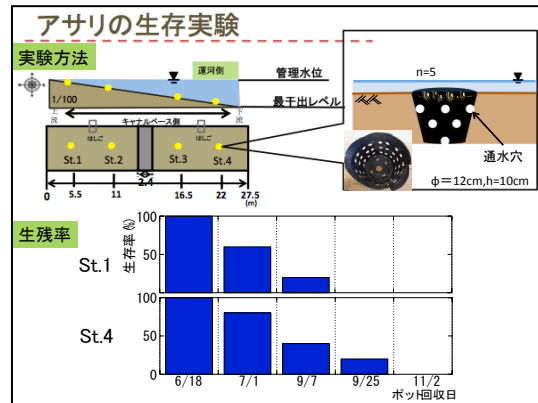


図10 アサリの生存実験結果

このような結果から、人工干潟での生態系をまとめると図11のようになり、自然干潟に比して、出現種間をつなぐフローに乏しく、汚濁指標種が単独的に出現する系にしかならないことが分かった。このことから、活動協議会に干潟の改造案を提示した。その内容は、干潟の地盤高さの調整、生物生息場の多様性確保を行うこと、市民が積極的に関与し、耕耘を行うことなどである。

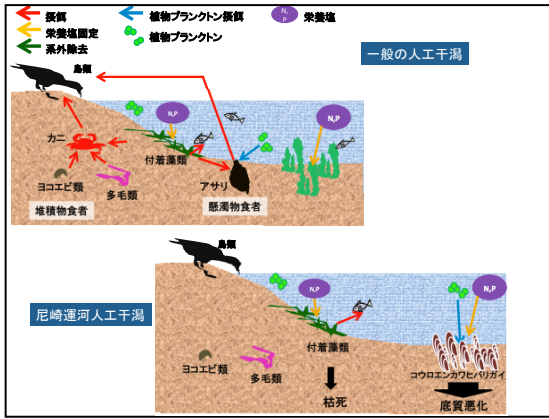


図 1.1 人工干潟での生態系（比較図）

(5) 環境学習の効果と水質浄化活動への参加意欲

尼崎市の事業に参画し、尼崎運河周辺の6小学区の小学3年生に対し、水質汚濁と浄化を学ばせる環境学習会を実施した。コンテンツはオリジナルのものを用いた。環境学習会の実施後すぐに、保護者に対するアンケート調査を行い、尼崎運河での水質浄化活動への参加意欲の変化について検討した。その結果を図1.2に示す。環境学習の内容を児童から聞いた保護者は、373名のなかで211名おり、児童から環境学習会のことを聞く前後で、環境改善活動に参加したい保護者の割合は11%から48%まで上昇し、効果があったと言える。また、環境意識が変化した理由を尋ねたところ、図1.3に示すように、環境が良くなるという直接的な理由の他に、子どもと一緒に活動できるからという回答が多く、本運河での環境改善活動については、教育資源としての価値も有していることが分かった。このような要素を明確にした活動を計画することで、主体的な活動意欲が高まると推測された。

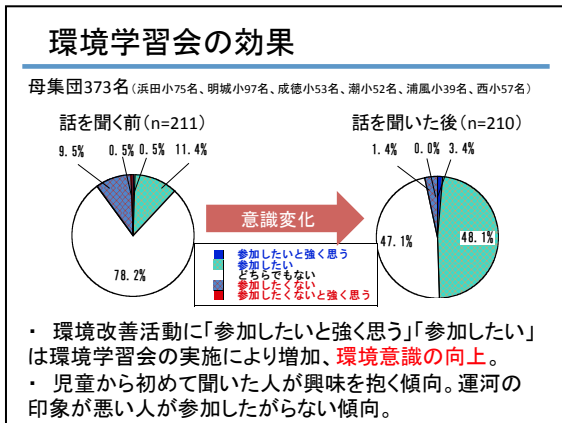
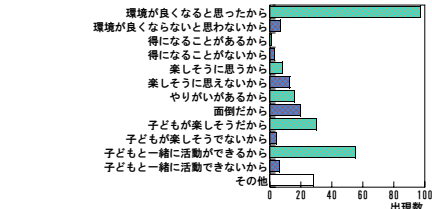


図 1.2 環境学習会の保護者への波及効果

環境学習会の効果

環境意識が向上した理由は



「環境が良くなる」「子供と一緒に活動できる」が多い。
小学生の保護者にとって参加の理由に「子供」が大きい。
⇒ **環境改善活動は子供の教育に良い**と考えている。
⇒ **環境改善活動は教育資源**として価値がある。

図 1.3 環境意識が向上した理由への回答

(6) 環境再生事業の実現性に関する考察

尼崎運河における環境再生事業の経緯を整理し、なぜ尼崎運河では環境再生事業が成功したのかを考察した。その結果を図1.4に示す。従来の環境再生事業は、図1.4の左側のように、事業費のみを頼りに短期間で大きな成果を求め、地元のニーズの醸成や、環境改善行動の持続性を育むプロセスが無かった。しかし、尼崎運河では、図1.4右側のような、小規模の事業から大規模につなげ、時間をかけて事業へのニーズを醸成していく、継続的な事業実施の環境を整えていくプロセスがあったため、発展が発展を生むよい循環になったと考えた。このような環境再生の方法をボトムアップ型と命名した。今後は、時代的な背景を踏まえ、このボトムアップ型の方法論で環境再生事業を行っていくことが持続的な環境再生に有効であると考えられた。

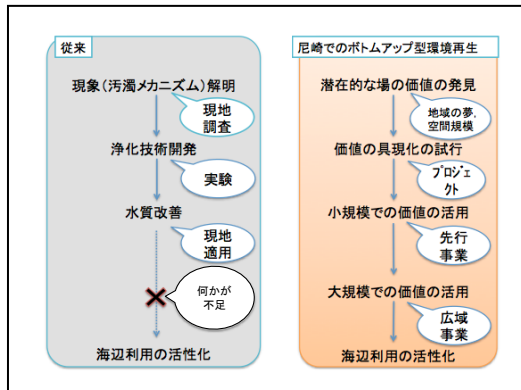


図 1.4 環境再生事業の実施プロセス

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5件)

①山中 亮一, 上月 康則, 桶川 博教, 沓掛 安宏, 一色 圭佑, 山中 健太郎, 島巡 露滯, 中西 敬, 川井 浩史, 石垣 衛, 上嶋 英機, 今中 治夫, 尼崎運河での優占二枚貝を活用した水中懸濁物除去手法の開発, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 査読有, Vol.69, No.2, pp.1086-1090, 2013. (DOI: 10.2208/kaigan.69.I_1086)

② Ryoichi Yamanaka, Yasunori Kozuki, Okegawa Hironori, Kutsukake Yasuhiro, Shimameguri Romio, Yamanaka Kentaro, Isshiki Keisuke, Takashi Nakanishi, Kawai Hiroshi, Mamoru Ishigaki, Hideki Ueshima and Tsukahara Atsushi : Purification Effect of a New Plant in Amagasaki Canal, Proceedings of the Global Congress on ICM: Lessons Learned to Address New Challenges (Proceedings of EMECS10 - MEDCOAST 2013 Joint conference), 査読無, Vol.2, pp.1014-1021, 2013.

③ Ryoichi YAMANAKA, Yasunori KOZUKI, Machi MIYOSHI, Fumiko NOGAMI, Tatsunori ISHIDA, Kouichirou UOTANI, Satoshi ANO, Yuta MIZUGUCHI and Kotaro GOTO, VARIATION OF MUSSEL BIOMASS AND ITS EFFECT ON MARINE BIOTA IN AMAGASAKI PORT, Recent Advances in Marine Science and Technology 2012, 査読有, pp.54-67, 2013.

④ 山中 亮一, 上月 康則, 桶川 博教, 沢田 晃聖, 前田 真里, 沓掛 安宏, 平井 住夫, 一色 圭佑, 尼崎運河の藻類を用いた水質改善水路での夜間 LED 照射による効果と適用方法, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 査読有, Vol.68, No.2, pp.1166-1170, 2012. (DOI: 10.2208/kaigan.68.I_1166)

⑤ 山中 亮一, 上月 康則, 桶川 博教, 森 紗綾香, 一色 圭佑, 前田 真里, 川井 浩史, 石垣 衛, 中西 敬, 上嶋 英機, 平井 住夫, 尼崎運河における構造物底面への生物付着防止方法の提案とその効果, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 査読有, Vol.67, No.2, pp.1036-1040, 2011. (DOI: 10.2208/kaigan.67.I_1036)

[学会発表] (計8件)

①一色 圭佑, 山中 亮一, 他, 尼崎運河に新設した人工干潟の底質変動要因, 日本沿岸域学会研究討論会 2013 講演概要集(CDROM), Vol.26, 2013年7月19日, 大阪市立大学(大阪府)

② Ryoichi Yamanaka, Yasunori Kozuki, Machi Miyoshi, Fumiko Nogami, Tatsunori Ishida, Kouichiro Uotani, Satoshi Ano,

Yuta Mizuguchi and Kotaro Goto : Variation of mussel biomass and its effect on biochemical cycle in Amagasaki Port, Pacific Congress on Marine Science and Technology 2012 Program and Abstracts, p.74, 9.Dec, 2012, Sheraton Kona Resort & Spa at Keauhou Bay (Hawaii, USA)

③山中 亮一, 上月 康則, 他, 尼崎運河における水質浄化を題材とした環境学習について, 日本生活科総合的学習教育学会全国大会概要集, 第21回, 徳島大会, p.239, 2012年6月9日, 徳島大学(徳島県)

④桶川 博教, 山中 亮一, 他, 藻類を用いた水質浄化水路への水中型 LED 適用方法について, 平成 24 年度 土木学会四国支部 第 18 回技術研究発表会講演概要集, pp.331-332, 2012年5月19日, 高知工科大学(高知県)

⑤沓掛 安宏, 山中 亮一, 他: 尼崎港・運河のバイオマスを原料とした堆肥成分について, 平成 24 年度 土木学会四国支部 第 18 回技術研究発表会 講演概要集, pp.317-318, , 2012年5月19日, 高知工科大学(高知県)

⑥森 紗綾香, 山中 亮一, 他, 尼崎運河における水質汚濁と水質改善技術を題材とした環境教育の波及効果と水質改善活動の実施, 平成 23 年度日本沿岸域学会全国大会, 2011年9月12日, 広島工業大学(広島県)

⑦ Ryoichi Yamanaka, Yasunori Kozuki, Isshiki Keisuke, Sayaka Mori, Maeda Mari, Okegawa Hironori, Kawai Hiroshi, Mamoru Ishigaki, Takashi Nakanishi, Hideki Ueshima and Hirai Sumio, Development of Water Quality Improvement Channel with Citizen in Amagasaki Canal, Japan, The Ninth International Meeting on the Environmental Management of Enclosed Coastal Seas (EMECS9), 30. Aug, 2011, Baltimore Marriott Waterfront (Baltimore, USA)

⑧一色 圭佑, 山中 亮一, 他, 尼崎運河での水質改善実験水路からの藻類バイオマス回収について, 平成 23 年度土木学会四国支部 第 17 回技術研究発表会講演概要集, VII-14, 2011年5月14日, 香川大学(香川県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山中 亮一 (YAMANAKA, Ryoichi)
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス
研究部・講師
研究者番号: 50361879