

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510011

研究課題名(和文)都市型人工塩性湿地における生物圏と環境圏間の炭素フラックスの実態と機序解明研究

研究課題名(英文)A research for the actual situation and mechanism of carbon flux between biosphere and environments in the urbanized artificial salt marsh

研究代表者

矢持 進 (Yamochi, Susumu)

大阪市立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30315973

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,400,000円、(間接経費) 1,320,000円

研究成果の概要(和文)：大阪南港野鳥園北池の優占海藻は変化し、この現象に関わる要因として高水温化、藻類増殖期における淡水流入による低塩分などの影響が考えられた。また海藻の増殖が著しい6、7月に干出時間を約6時間設け、淡水を湿地内に導入して塩分を20psuに下げることによってグリーンタイドを低減できる可能性が示唆された。潮汐変動に伴う湿地堆積物のCO₂フラックスを現地調査と室内実験で検討した。湿地でのCO₂フラックスは潮汐変動に伴って変化し、干出時には地下水位が下がるほどCO₂フラックスが大きくなった。また、冠水時には干出時に比べCO₂フラックスが1/5～1/40に小さくなることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Field surveys and laboratory experiments were carried out to prevent the outbreak of green tides at the north pond of Osaka Nanko bird sanctuary and to measure the amount of discharge of carbon dioxide which is an index of the amount of organic matter decomposition. The most dominant species gradually changed from *Ulva pertusa* to *Ulva ohnoi*, which is partly due to temperature increase and low salinity at a growing season. Photosynthesis was inhibited when they were exposed to air for 6 hours at 35°C followed by a low salinity of 20psu. These results suggest the possibility of controlling green tides of *Ulva* by a combination of exposure to air with low salinity in summer. CO₂ flux increased with decrease of the groundwater level when the bottom sediment emerged at the north pond of Osaka Nanko bird sanctuary. The CO₂ flux in the submerged period showed 0.2-1.2 mgCO₂/m²/min which was less than 1/5 to 1/40 of the emerged period.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学 環境動態解析

キーワード：塩性湿地 二酸化炭素 光合成 有機物分解

1. 研究開始当初の背景

大都市を背後に持つ多くの臨海域では産業・物流系の土地利用が多くを占め、市民の水辺へのパブリックアクセスが著しく制限されている。その一方、港湾海域の内部には未利用海面や低利用遊休地が多く残存し、その再生と活性化が豊かな水辺空間や賑わいのアミューズメントを求める市民ニーズとの関連において重要な社会的課題になっている。このため、都市周辺の人工水域において干潟や塩性湿地などの創出に係わる社会実験が行われている。しかしながら、汚濁が進行し、富栄養な大都市近傍の閉鎖性人工水域では、環境を改善する手法として人工干潟などを選択し、その時点で最高に近い技術を駆使したとしても、保全に向けた人間の関与と管理がなければ環境が劣化し、健全な生態系として持続的に機能するとは限らないことがわかってきた。人々との接点が多い海浜域に目を向ければ、都市沿岸の干潟や浅場の多くでは、緑藻の1種であるアオサの増殖に起因する「グリーントイド」が頻発し、景観悪化や腐敗臭の発生、生態系の破壊が大問題となっている。Fletcher(1996)によれば、グリーントイドは欧米・豪州・東アジアなど世界的に発生している今日的な環境問題で、その対策は人力による物理的な除去が主要なものであり、科学的裏付けに基づくグリーントイドの制御・軽減に関する知見が不足している。ただ、視点を変えれば人工干潟や湿地での植物の増殖や枯死は、有機物の生産・分解を通じて海の物質循環に深く関わり、ひいては都市と近接する身近な場におけるCO₂の固定・排出など地球温暖化とも関連する現象である。

このように、グリーントイドは干潟・浅場生態系の健全性に深く係わる現象で、解決すべき世界的な社会・環境問題であるにもかかわらず、国内外におけるグリーントイド対策に関する学術的研究が極めて少ない。さらに、人工干潟や人工塩性湿地における地圏と水圏あるいは地圏と気圏との間の有機物の転送やCO₂の固定・放出の実態が不明であり、解明すべき多くの研究課題が存在する。これらのことを踏まえ本研究に着手した。

2. 研究の目的

(1) グリーントイドの制御

都市近傍において干潟の環境を改善し、その機能を働かせるには、海藻の異常繁茂を制御する手法の確立が必要である。しかし、グリーントイドを構成する藻類の特性や環境ストレスに対する耐性を調べ、抑制方法を検討した研究は少ない。

本研究では、まず大阪南港野鳥園に繁茂する大型藻類の季節的な消長に関する現地調査を行い、またグリーントイドを構成する海藻として報告されているアナアオサ(*Ulva pertusa*)、ミナミアオサ(*Ulva ohnoi*)、ネダシグサ(*Rhizoclonium riparium*)の乾燥と低塩分ストレス耐性を調べ、大型藻類の異常繁

茂を軽減する方法を検討した。

(2) CO₂フラックス

干潟や塩性湿地は生物生息や水質浄化、親水空間、さらには流域圏の物質循環などの観点から重要な場とされ、近年では各地で人工干潟の造成が増えてきている。この場合、干潟生態系では、底生生物や微生物による有機物の生産や分解・無機化が行われ、これが干潟の炭素循環において大きな役割を果たしている。

生物による有機物の分解・無機化過程で一般的に二酸化炭素(CO₂)が放出される。干潟堆積物から放出されるCO₂の多くは生物活動に起因するものであり、干潟堆積物からのCO₂フラックスを測定・解析することは、生物による干潟の有機物分解能特性の究明につながるかと期待される。しかし、潮の干満など、短時間で環境が変化する干潟においてはCO₂の放出・吸収動態に関する研究がほとんどなく、現地における測定方法も確立されていない。本研究では、有機物分解の指標として干潟堆積物からのCO₂フラックスに着目し、チャンバーを用いた現地測定装置の試作とともに、それを用いて干潟の有機物の分解特性について検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) グリーントイドの制御

優占海藻の遷移

大阪南港野鳥園北池に計16の調査地点(Sts. A-P)を設け、2011年6月から2013年2月27日にかけて12回の調査を行った。海藻採取の方法については、0.5m×0.5mの立体コドラート(採取面積0.25m²)を用い、コドラート内にある全海藻を採取した。採取した海藻は陸上に持ち帰り、湿重量の測定、種の査定を行った。また調査地点で採取した海藻の調査日ごとの全地点平均湿重量を求め、北池全体の平均海藻現存量を評価した。

海藻の干出・低塩分耐性

・ 供試藻体の採取・馴致
採取した海藻を恒温室の明条件下(約100 μmol/m²/s)で、弱く通気した濾過海水中に保存し、毎日海水を交換しつつ、1週間以内に用いた。実験海水は、ガラス繊維濾紙(Whatman GF/F、孔径0.7 μm)で濾過したものを蒸留水で目的の塩分に希釈し、窒素(NaNO₃)、リン(K₂HPO₄)、微量金属(P Metal)を補強した。さらに海水はpHを8.0-8.2に調整後、小型高圧蒸気滅菌機(ヤマト科学、SP300型)を用いて121 °Cで5分間加熱滅菌した。海藻は付着物を取り除き、ネダシグサは長さ約15cm、アオサ類は約1cm四方(ともに湿重量約0.1g)に細断し、実験に先立ち、弱光条件下(約1.0 μmol/m²/s)で実験と同じ水温と塩分の栄養補強海水に12時間馴致した。

・ 光合成速度の測定

環境ストレスとして温度・塩分・干出の3つの要因を変化させ、光合成が抑制されるかどうかを調べた。なお、低塩分耐性実験では、

藻体を入れた海水の塩分を1時間ごとに5psuずつ低下させ、実験塩分中で12時間以上馴致した。干出耐性実験に関しては、干出方法として藻体を高湿度条件(湿度90%以上)の密閉容器内で、暗条件下にて干出を再現した。低塩分・干出処理をそれぞれ行った後、100mlフラン瓶に栄養補強海水と1片の藻体を入れ、溶存酸素計(東亜ディーケーケー製、DO-24P型)を用いて投入直後の酸素濃度を計測した。そして卓上人工気象器(日本医科器械製、LH-55-RDS型、光量子束密度:約 $100\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)内で6時間藻体に光合成させ、その後再び海水の溶存酸素濃度を計測した。測定後には用いた藻体の湿重量を計測し、培養前後の溶存酸素濃度の変化量から、単位湿重量あたりの光合成速度を求め、光合成活性を評価した。

(2) CO₂フラックスの測定

干出時

調査は大阪南港野鳥園北池において2012年5月23日、6月6日、7月4日、8月29日、9月26日の計5回、いずれも大潮の干潮時にD.L.+0.8mの地点で実施した。

有機物の分解・無機化に伴うCO₂フラックスの変化を測定対象としているため、本研究では光を遮断する暗チャンバーを使用し、藻類による光合成の影響を考慮しなくてよい暗条件下で測定を行った。チャンバー内のCO₂濃度変化から求められたCO₂放出量をCO₂フラックスとして算出した。

冠水時

調査は2012年8月29日の大阪南港野鳥園北池のD.L.±0mの地点で実施した。海水のCO₂濃度の測定方法については、気液平衡部にらせん状に巻いたポアフロンチューブを設置し、ポンプ(流量1.0L/min)で系内の空気を循環させた。装置は、チャンバー(暗、円柱型:底面積721cm²、高さ26cm、容積15.1L)内に気液平衡部であるポアフロンチューブ(長さ約15cm、外径5mm、気孔率60%)をらせん状に巻いたもの、チャンバー外はポンプ、乾燥剤、二酸化炭素計測器(VIASALA製、GMP343)が一つの循環系になるよう連結した。また、海水のCO₂増加量を測定するために、暗瓶に海水を入れ測定前後のpCO₂の測定を行った。海水のCO₂濃度は反応速度を考慮し、チャンバーを設置し空気を循環させてから30分後以降のデータを測定結果とした。チャンバー内のCO₂量の増加速度から暗瓶の海水のCO₂増加量を差し引くことにより堆積物からのCO₂フラックスを求めた。なお、単位は干出時のCO₂フラックスと合わせるためにmgCO₂/m²/minとし、1分間に堆積物1m²から放出されるCO₂の量(mgCO₂)を求めた。

室内実験による検証

2012年12月14日の干潮時に大阪南港野鳥園北池の現地測定地点付近にて、深さ約10cmまでの堆積物サンプルを乱さないように採取した。同時に北池内にて海水も採取し、実験用海水とした。持ち帰った堆積物は下部か

ら水が通るように底面積63.6cm²、高さ25cm、容積1.6Lのアクリル製円筒管の底蓋に多数の細孔(直径約2.5mm)をあけ、ネットを敷き、海水が出入りできる仕組みとした。また、円筒管外の水位を調整することにより円筒管内の水位調整を行った。

CO₂フラックスは黒色のアクリル製円筒管内にフロンチューブをらせん状に巻いたものを入れ、チャンパー外にポンプ、乾燥剤、二酸化炭素計測器をセットして一つの循環系になるように連結し、測定した。また、冠水時の測定は気液平衡部を海水に浸けた状態からポンプで30分以上気体を循環させてから行った。測定は地下水位が-7.5cmから始め2.5cm刻み(+2.5cmを除く)に測定を行い、上げ潮、下げ潮、上げ潮、下げ潮の2潮汐間を模した実験を行った。

4. 研究成果

(1) グリーンタイトの制御

優占海藻の遷移

観察開始当初は緑藻の一種であるアナアオサ(*Ulva pertusa*)がグリーンタイト原因種として繁茂したが、第1優占種が変化し、2009年の冬季から同じ緑藻であるミナミアオサ(*U. ohnoi*)の増殖が見られるようになった。2011年の調査では夏季の第1優占種はアナアオサからミナミアオサへと遷移していた。他の海藻が繁茂している様子も観測できたが、その多くが現存量500g-wet/m²以下を示し、グリーンタイトを形成するにはいたらなかった。また、2012年はミナミアオサやスジアオノリ(*Enteromorpha prolifera*)の出現を確認することはできたものの、グリーンタイトを形成するほどの大量発生は認められなかった。

グリーンタイトを形成する海藻の種類がアナアオサからミナミアオサに変化したことに影響を及ぼした要因として、近年の海水温の上昇が考えられる。ミナミアオサは温暖な海域に生息する緑藻であり、海水温上昇によって好適増殖期間が長くなった可能性がある。また、後述するが、両藻について干出・低塩分ストレス耐性実験を行ったところ、ミナミアオサの方がアナアオサより35において厳しい低塩分・干出条件下で高い光合成活性を示したことから、この遷移にはアナアオサよりもミナミアオサの方が高温時のストレス耐性に優れていることが一因すると考えられた。干潟内外からの遊走子や配偶子の供給と定着など、両藻の初期発生量には不明な点が残っているが、大阪南港野鳥園北池における第1優占種の交代には高水温期間の増加と両種の干出・低塩分耐性の差が関与し、結果的にアナアオサが駆逐されたと推察できる。

また、2012年の調査では、グリーンタイトの発生が確認できなかったが、これには増殖期における海水の低塩分化が関連すると考えられる。海藻が著しく繁茂し始める6、7月頃に強い雨(1時間あたり20mm以上30mm

未満)や激しい雨(1時間あたり30mm以上50mm未満)が、2012年には4回他の年に比べ多く、淡水が多く干潟内に流れ込んだ。本干潟は閉鎖的水域のため、降雨による塩分低下の影響を受けやすい。干出時や潮位の低い時に多量の雨が降り、低塩分化したことがアオサなどの海藻の増殖の妨げとなり、グリーンタイドが発生しなかったと推察される。実際2012年の夏に大阪南港野鳥園北池でアオサに代わって優占したスジアオノリ(*E. prolifera*)は、淡水が支配的な所で見られる海藻であり、それまでの大阪南港野鳥園北池では大量に繁茂することは少なかった。この現象からも、大阪南港野鳥園北池でグリーンタイドが発生しなかったことに低塩分化の影響が示唆される。

干出・低塩分耐性

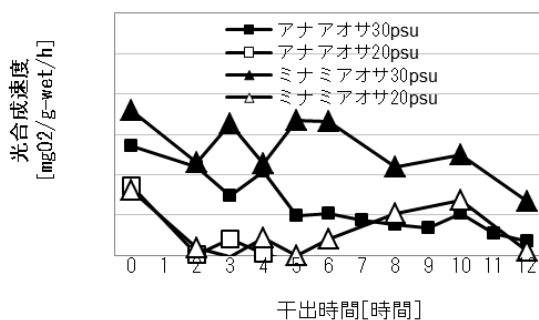


図1 アノアオサとミナミアオサの光合成速度と塩分・干出時間の関係(35)

25-35、30psuの条件において、グリーンタイド形成藻であるネダシグサの光合成速度は30分以内の干出で著しく低下し、このことからネダシグサは干出耐性に優れていないことが分かった。アノアオサ、ミナミアオサの2種の緑藻類に関しては、ミナミアオサの方がアノアオサよりも強い干出耐性を有し、ミナミアオサは35、30psuで6時間の干出処理を行っても光合成速度の低下が見られなかった。また両種ともに塩分を20psuまで下げると光合成速度が低下することから、この塩分では干出がなくても低塩分化による光合成の抑制があることが分かった(図1)。これらグリーンタイド形成海藻3種の実験結果から、海藻が増殖を開始する時期に現地の海水塩分を20psuに低下させ、干出時間を6時間設けることができればグリーンタイドの発生を軽減できる可能性が示唆された。

(2) CO₂フラックス

干出時

各調査日において暗チャンパー内のCO₂濃度は測定時間が経過するとともに増加していることから、干潟堆積物から暗チャンパー内に二酸化炭素の放出が行われていることがわかった。各調査日のCO₂フラックスと地下水位の関係については、全ての調査日に地下水位が低下するとCO₂フラックスの増加する傾向がみられた。地下水位の低下に伴い

CO₂フラックスが増加する原因としては、堆積物に空隙が発生・拡大し、大気中に存在する酸素と触れあうことにより分解が活発に行われたためと考えられる。Magenheimerら(1996)は湿地堆積物において地下水位が低い時に地表面に酸素が入り込み、好気的狀態となりCO₂フラックスが大きくなると報告している。また大谷ら(2011)はCO₂フラックスを決定づける要因として温度・地下水位・底生動物量を検討しているが、測定時間中に堆積物の温度、有機物量はほとんど変化しないと考えられるので、一日のCO₂フラックスの変化は地下水位の変動による影響が大きいと言える。

冠水時

2012年8月29日に大阪南港野鳥園北池で行った冠水時のチャンパー内海水のCO₂濃度については、開始直後は約680ppmであったものが、時間の経過とともに上昇し、40分後に約800ppmとなった。このようにチャンパー内のCO₂濃度は上昇しており有機物分解や呼吸によりCO₂が放出されたと考えられる。

チャンパー内のCO₂増加速度は時刻によってばらつきがみられるが平均すると、0.06mgCO₂/L/minであった。また暗瓶内の海水の測定前後のpCO₂増加量は38分間の測定で0.02mgCO₂/L、増加速度は5.26 × 10⁻⁵mgCO₂/L/minであった。これらの結果を差し引くことにより堆積物からのCO₂フラックスを求めた。堆積物からのCO₂フラックスは0.2~1.2mgCO₂/m²/min(平均0.7mgCO₂/m²/min)であり、時間の経過に伴いCO₂フラックスが増大、または減少する傾向は見られなかった。

干出・冠水によるCO₂フラックスの変化

大阪南港野鳥園北池における2012年8月29日の干出地点のCO₂フラックスは5.1~19.9 mgCO₂/m²/min(平均12.2 mgCO₂/m²/min)であり、冠水時は0.2~1.2 mgCO₂/m²/min(平均0.7 mgCO₂/m²/min)であった。また干出時には地下水位の低下とともにCO₂フラックスが増加する傾向が見られたが、冠水すると水位との明瞭な対応関係は見られなくなった。このように冠水後は干出時に比べCO₂フラックスが約1/5~1/40に減少した。森本ら(1995)は海浜砂中において間隙中の水分の飽和度が66%で生分解が最も高くなり、飽和度が100%を超えると酸素の供給が減少し最小の分解性能になると報告している。本研究においても同様の結果が得られ、冠水時は堆積物内に海水が満たされ酸素の供給量が少なくなったため有機物分解速度が小さくなったと考えられる。

室内実験

・干出時のCO₂フラックス

各水位でのCO₂フラックスの平均値と水位の関係を図2に示す。この図から地下水位が低下すればCO₂フラックスが線形的に増加する傾向のあることがわかる。また上げ潮時と下げ潮時を比較すると、全ての地下水位にお

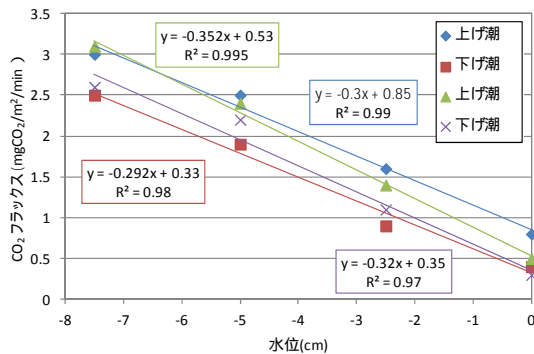


図2 室内実験における水位とCO₂フラックスの関係(干出時)

いて上げ潮時のCO₂フラックスの方が下げ潮時のそれより大きかった。国分ら(2009)は干潟の上げ潮時に懸濁態窒素濃度およびDO濃度が高い海水が流入し、逆に下げ潮時になると懸濁態窒素濃度および溶存酸素濃度の低い海水が干潟外に流出すると報告しており、上げ潮によって流入した豊富な懸濁態窒素や溶存酸素が干潟での底生生物の摂餌や微生物の分解によって消費され、濃度を下げると考えられた。今回行った実験でも上げ潮時には有機物および溶存酸素を多く含んだ海水が流入したため有機物分解量が多くなったが、下げ潮時にはすでにそれらが消費され上げ潮時に比べ有機物分解量が少なくなっていたと考えられる。

・冠水時のCO₂フラックス

冠水時の水位とCO₂フラックスの関係については、上げ潮時の水位5cmを除き、水位の変化にかかわらず冠水時の堆積物からのCO₂フラックスに変化が見られず、0.02-0.04mgCO₂/m²/minの範囲で推移した。干出時(地下水位±0cmのCO₂フラックス)と冠水時(各水位のCO₂フラックスの平均値)のCO₂フラックスを比較すると、冠水時の方が1/8~1/15小さい値であった。なお、上げ潮時の水位5cmでは、他のCO₂フラックスとは異なり測定開始直後に約0.18 mgCO₂/m²/minの大きいCO₂フラックスを示し、その後、時間の経過とともにフラックスが小さくなった。実験において上げ潮時の5cmは冠水直後であり、溶存酸素濃度および懸濁態窒素濃度の高い海水が注入された直後である。以上のことから、干潟において上げ潮時に新鮮な海水が入り込むと一時的に有機物分解が進むが、冠水後の時間経過とともに有機物分解量が減少し、ある一定の分解速度に安定すると考えられる。

(3) まとめ

大阪南港野鳥園北池に繁茂する海藻は量・種ともに毎年変化し、この現象に関わる要因として高水温化、増殖期における淡水の流入による低塩分化などの影響が考えられた。また室内実験結果から、海藻の増殖が著しい6、7月に干出時間を約6時間設け、さらに淡水を干潟内に導入して塩分を20psuに

下げることでグリーントイドを低減できる可能性が示唆された。

潮汐変動に伴う干潟堆積物のCO₂フラックスを現地調査および室内実験により測定した。干潟ではCO₂フラックスは一日の潮汐変動によって変化し、干出時には地下水位が下がるほどCO₂フラックスが大きくなり、さらに上げ潮時は下げ潮時よりも値が大きくなった。また冠水時には干出時に比べCO₂フラックスが1/5~1/40に小さくなることが明らかになった。これらのことから、干潟堆積物のCO₂放出および吸収量、または有機物分解量を定量化するには少なくとも1潮汐間以上の連続測定を行う必要があると考えられた。

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6件)

Susumu Yamochi, Effects of desiccation and salinity on the outbreak of a green tide of *Ulva pertusa* in a created salt marsh along the coast of Osaka Bay, Japan, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 査読有, 116, 21-28, 2013

藤田哲朗・遠藤 徹・田中俊行・矢持 進、潮汐に伴う干潟堆積物からのCO₂フラックスの変動に関する研究、査読有、土木学会論文集B2(海岸工学)69巻、1181-1185、2013

田中俊行・藤田哲朗・矢持 進：人工干潟におけるCO₂吸収量の定量化手法の課題と改善策、査読有、土木学会論文集B2(海岸工学)69巻、1176-1180、2013

島並 諒・遠藤 徹・矢持 進、大阪南港野鳥園湿地のグリーントイド制御に関する一考察、査読有、土木学会論文集B2(海岸工学)69巻、1161-1165、2013

酒井大樹・遠藤 徹・重松孝昌・矢持 進、大阪湾阪南2区干潟創造実験場における流れとミナミアオサの分布、土木学会論文集B2(海岸工学)、査読有、68巻、1186-1190、2012

大谷優里・藤田哲朗・矢持 進、都市近郊の人工干潟における有機物の分解特性に関する一考察 - チャンバー法によるCO₂フラックスの測定 -、土木学会論文集B2(海岸工学)、査読有、67巻、976-980、2011

[学会発表](計4件)

田中俊行・矢持 進、大阪南港野鳥園北池塩性湿地のCO₂吸排出特性に関する研究、日本水産学会近畿支部、2013年12月7日、キャンパスポート大阪

島並 諒・矢持 進、大阪南港野鳥園北池におけるグリーントイド原因海藻「ミナミアオサ」の成長抑制方法に関する一考察、日本水産学会近畿支部、2012年12月1日、大阪市立大学文化交流センター

藤田哲朗・大谷優里・矢持 進、人工干潟における有機物分解特性に関する研究-大阪南港野鳥園北池 -、環境アセスメント学会、

2011年9月30日、東京工業大学すずかけキャンパス

藤田哲朗・大谷優里・矢持 進、人工塩性湿地の有機物分解特性に関する一考察 - チャンバー法による CO₂ フラックスの測定 -、日本水産学会近畿支部、2011年11月26日、大阪市立大学文化交流センター

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

国土交通省主催 第8回海の再生全国会議
基調講演「大阪湾の水環境課題と川・海連携による再生」、2014年3月、海遊館

6. 研究組織

(1) 研究代表者

矢持 進 (YAMOCHI Susumu)
大阪市立大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：30315973

(2) 研究分担者

遠藤 徹 (ENDO Toru)
大阪市立大学・大学院工学研究科・講師
研究者番号：00527773

(3) 連携研究者

なし()

研究者番号：