

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：54401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04679

研究課題名（和文）炭素固定機能の向上に向けた沿岸域の生態系相互作用の解明

研究課題名（英文）Ecosystem interactions in coastal areas for improved carbon stock functions

研究代表者

大谷 壮介（OTANI, SOSUKE）

大阪府立大学工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：60554219

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）：本研究は大阪湾沿岸域を対象に、水面における二酸化炭素フラックスとそれに寄与する生態系の相互作用を明らかにすることを目的とした。大阪湾沿岸域の13つの干潟を対象とした水面と堆積物の二酸化炭素フラックスの空間分布について、干潟では水面から二酸化炭素は放出傾向であり、堆積物は干出することで、有機物の分解が促進されて二酸化炭素は放出していることが考えられた。また、尼崎運河を対象とした水面における二酸化炭素フラックスは一年を通して吸収傾向にあり、尼崎運河は空気中から水中へ二酸化炭素を吸収していた。さらに、年間を通して一次生産者から有機炭素は8.6%が二次生産者へ移行していることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ブルーカーボン機能の生態系相互作用を明らかにすることを目的に、大阪湾沿岸域において、13の干潟の調査を行った。干潟では水面から二酸化炭素は放出傾向であり、堆積物は干出中に有機物の分解が促進されて二酸化炭素は放出していることが考えられた。さらに湾奥部の尼崎運河において、年間を通して大気から水面に二酸化炭素は吸収傾向であった。また、水中に吸収された二酸化炭素は植物プランクトンに吸収されて高次の捕食者である動物プランクトンと貝に有機炭素の形で炭素が移行していることを示した。このように炭素固定に関わる炭素フローを定量的に示すことで二酸化炭素のガス交換とそれに関わるメカニズムを総合的に明らかにした。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study was to clarify the interaction between carbon dioxide fluxes at the water surface and the ecosystems that contribute to the fluxes in the coastal area of Osaka Bay. The spatial distribution of carbon dioxide fluxes at the water surface and in sediments on 13 tidal flats suggests that carbon dioxide tends to be released from the water surface, while carbon dioxide is released from sediments as organic matter decomposition is accelerated of the sediments in low tide. The carbon dioxide flux at the water surface of the Amagasaki Canal showed absorption trend, indicating that the canal absorbs carbon dioxide from the air into the water. Furthermore, it was found that 8.6% of organic carbon was transferred from primary producers to secondary producers throughout the year.

研究分野：沿岸環境工学

キーワード：沿岸域 生態系 炭素固定 二酸化炭素フラックス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、沿岸域は CO₂ を固定していることが明らかになりつつあるが、沿岸域は都市部の影響を受けることから、環境の変動が大きな場所である。これまで、このような沿岸域は流域から流入した有機物の分解の場として働き、CO₂ の排出源であるとの見方が一般的であった (Laruelle et al., 2013; Regnier et al. 2013)。特に、塩分変動のある沿岸域では水面から CO₂ が放出傾向であり、塩分が低いほど CO₂ は放出されることが明らかになっている (Chen et al., 2013)。しかしながら、人間活動が活発な都市近郊部では炭素貯留効果が高まることが報告されており (Kuwaie et al., 2016)、日本の代表的な閉鎖性水域である東京湾や大阪湾における大気-海水間では CO₂ は吸収されるように働いていることが示されている (Kubo et al, 2017; Tokoro et al., 2021)。一方で、沿岸域において水深が浅い干潟のような場所では、冠水と干出を繰り返すことから環境の変動が大きい特徴があり、浮遊生態系と底生生態系がその場の物質循環に寄与している。したがって、水面と堆積物の CO₂ フラックスを関連付けて要因を明らかにすることができれば、干潟のブルーカーボン効果のメカニズムの解明に寄与すると考えられる。さらに、上流・下流からの流入や潮汐の影響により汽水域における CO₂ の吸収と放出は非常に複雑であるため、総合的に CO₂ の収支を評価する必要であるが、陸域や外洋と比較すると、沿岸域の CO₂ フラックスのデータは少ないのが現状である。

2. 研究の目的

沿岸生態系において植物プランクトンの光合成によって生産された有機物は、食物連鎖を通して高次の生物に固定される。都市近郊の沿岸域の水中には栄養塩が多く含まれていることから、植物プランクトンの過剰な増加も確認されている。そのような環境では植物プランクトンが多く、高い一次生産活動によって CO₂ が固定され、それらが高次の生物に移行して、CO₂ から炭素に変換されることで、炭素固定の場であることが考えられる。また、動物プランクトンや優占二枚貝が多く生息しているため、炭素が固定されていると考えられる。したがって、直接的に CO₂ を吸収する藻類やそれを食べる動物の現存量・生産速度および水面の CO₂ ガス交換の定量化を実施することで水面、堆積物、動植物の炭素固定に関わる炭素収支を総合的に明らかにすることができる。そこで本研究では大阪湾沿岸部における干潟の水面と堆積物の CO₂ フラックスの空間分布を明らかにするとともに、過栄養化した水域である尼崎運河の CO₂ フラックスの季節変化と炭素に関わる生態系構造を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 大阪湾沿岸部の干潟における調査・分析方法

2019年6月に大阪湾沿岸部の須磨海岸、住吉川、御前浜、甲子園浜、矢倉海岸、淀川、大和川、高師浜、大津川、近木川、男里川、深日漁港、落合川の計13地点の干潟を対象に干潮時に調査を実施した。調査は多項目水質計 (MS5, HydroLab社) を用いて水深、DO、pH、塩分を測定した。表層水を採水して、Chl.a はろ過後のろ紙について DMF 溶液を用いて抽出して、吸光度計 (UVmini-1240, 島津製作所社) により吸光度を測定した。さらに表層水について、NDIR方式の CO₂ 計 (GMP343, VAISALA社) を用いて、水試料に 8%リン酸を加えることで、全炭酸(DIC)を測定した。現地および分析で得られたデータから CDIAAC(Carbon Dioxide Information Analysis Center)が提供する CO₂SYS を用いて CO₂ 分圧(pCO₂)を算出した。また、CO₂ 分圧を用いて CO₂ フラックスを算出した。堆積物における CO₂ フラックスの調査は、干潟の干出時にアクリル製の明・暗のチャンパー(底面積 1,195cm², 容積 30.8L) を堆積物に差し込み、容器内の CO₂ 濃度を NDIR 方式の CO₂ 計 (TR-76Ui, T&D社) で 10 分間の測定を 3 回行った。明チャンパーでは干潟堆積物に生息する底生微細藻類や微生物の呼吸に加え、底生微細藻類の光合成が起こるので、堆積物における正味の CO₂ 吸収速度を測定できる。一方、暗チャンパーでは、底生微細藻類による光合成が起こらないため、干潟堆積物における CO₂ 排出速度を測定できる。なお、チャンパー内の温度が上昇しないように透明の遮熱シートでチャンパーを覆った。二酸化炭素の濃度変化から CO₂ フラックスの換算は式(1)を用いた。

$$F_c = (C_t - C_{t+1}) \times V \times \rho \times (1/A) \quad (1)$$

ここで、 F_c : CO₂ フラックス(mg/m²/min), C_t : ある時間の CO₂ 濃度(ppm), C_{t+1} : ある時間から 1 分後の CO₂ 濃度(ppm), V : チャンパーの体積(m³), ρ : CO₂ の密度(1.977g/L), A : チャンパーの底面積(m²)

本研究において CO₂ フラックスは符号がプラスのとき CO₂ を大気へ放出し、マイナスのとき CO₂ を水面、堆積物へ吸収することを示す。現地で表層水を採水後、実験室に持ち帰り、明暗瓶法による水中の光合成・消費速度を測定した。さらに、室内実験ではフラン瓶に水試料を投入後、インキュベーター(日本医化器械製作所, LP-130P)で明暗条件を作って、おおよそ 3-4 時間程度の培養を行って、光合成速度と消費速度を算出した。

(2) 尼崎運河における調査・分析方法

尼崎運河を対象に 2019年6月から 2020年6月まで毎月実施した。調査は多項目水質計 (MS5, HydroLab社) を用いて水深、DO、pH、塩分を測定した。また、表層水を採水して Chl.a 濃度、全炭酸(DIC)を測定した。現地および分析で得られたデータから CDIAAC(Carbon Dioxide

Information Analysis Center)が提供する CO2SYS を用いて CO₂ 分圧(pCO₂)を算出した。また、CO₂ 分圧を用いて CO₂ フラックスを算出した。一次生産速度算出のため、表層から 0.5m, 1.5m, 2.5m の水を採水しフラン瓶に入れ、各水深に戻して 3 時間後の DO の変化量を測定した。二次生産速度算出のため、直径 0.2m のプランクトンネットを底から表層まで移動させ動物プランクトンの採取を行った。動物プランクトンの現存量は、各種の長さや炭素量の関係を用いて、各種の体積を計算し、炭素量変換したものを現存量とした。さらに、現存量に現場で測定した水温、各種の成長速度を乗じて積算することで二次生産速度を求めた。また、尼崎運河の優占二枚貝であるコウロエンカワヒバリガイによる炭素生産量算出のため、護岸 0.1m×0.3m に付着しているコウロエンカワヒバリガイを採取して、個体数および殻長を計測した。得られたデータよりコホート解析を実施して、成長量逐次計算法によって二次生産速度を算出した。

4. 研究成果

(1) 干潟における CO₂ フラックスの空間分布

干潟の水面における CO₂ フラックスは、-0.203~5.20 mgCO₂/m²/min であり、13 地点中 8 地点で放出を示し、湾奥の河川の影響が強い地点で CO₂ は放出傾向にあった。また、堆積物における吸収フラックスは、-53.4~0.47 mgCO₂/m²/min、放出フラックスは 1.23~57.0 mgCO₂/m²/min と 13 地点中 7 地点で吸収フラックスより、放出フラックスが高かった。

1 日あたりの水面と堆積物の CO₂ フラックスを図-1 に示す。水面の 1 日当たりの CO₂ フラックスは-0.29~7.49 g CO₂/m²/day、堆積物の 1 日当たりの CO₂ フラックスは-20.0~79.5 g CO₂/m²/day であり、矢倉海岸と男里川を除いて CO₂ は放出であった。さらに、水面と堆積物の 1 日当たりの CO₂ フラックスは淀川を除いて、水中より堆積物の CO₂ フラックスが高く、その収支は大きいことから、堆積物では有機物の分解の場として CO₂ は放出されていることが推察された。

単位面積当たりの一次生産速度を図-2 に示す。水中の単位面積当たりの一次生産速度は光合成速度に平均水深を乗じて算出した。水深は各地点によって異なるが、各地点に近い潮位の観測地点より、年最低潮位と最高潮位の差から潮間帯の水深を算出した。図-2 より、水柱の一次生産速度は 79.7~914 mgC/m²/hour、堆積物の一次生産速度は 7.5~874 mgC/m²/hour であった。干潟の堆積物 1m² あたりの底生微細藻類による一次生産速度は水柱 1m² あたりの植物プランクトンによる一次生産速度と比べても非常に大きく、干潟が高い生産機能を有していることが示されている。本研究においても矢倉海岸を代表に淀川や、近木川以南の干潟では水柱の一次生産速度より堆積物の一次生産速度が高かった。一方で、特に兵庫県側の干潟において堆積物より水柱の一次生産速度は高く、堆積物と同オーダーであり、底生系の生産性の高さが伺えた。

水面と堆積物における有機物濃度と各 CO₂ フラックスにおいて、統計的な正の相関関係は認められなかった。有機物濃度が高ければ、微生物により有機物が分解されることで CO₂ 排出速度も高くなると考えられるが、微生物の基質である有機物濃度は分解による CO₂ 排出速度に寄与していないことを示唆している。また、水面と堆積物の CO₂ フラックスの間には統計的に相関関係は認められなかったことから、堆積物の CO₂ フラックスは水面の CO₂ フラックスに直接的に影響を及ぼしていないと考えられる。

以上のことから、干潟では水面から CO₂ は放出傾向であり、堆積物は干出することで、有機物の分解が促進されて CO₂ は放出していることが考えられた。

(2) 運河における CO₂ フラックスの季節変化と炭素フロー

水面の CO₂ フラックスの季節変化を図-3 に示す。CO₂ フラックスは-4015~4309 (平均:-761±2151) mg CO₂/m²/day で変動した。10月、11月、12月の3か月で CO₂ は放出を示したが、

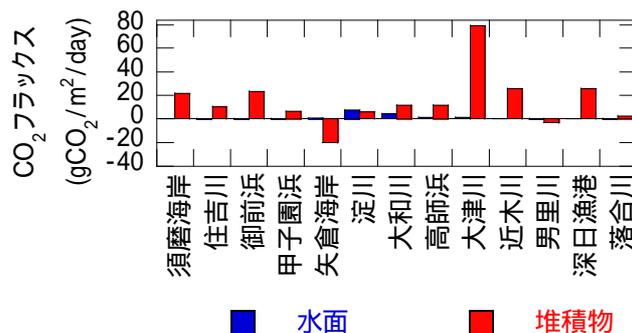


図-1 1日あたりの水面と堆積物のCO₂フラックス (正：大気への放出，負：水面，堆積物への吸収)

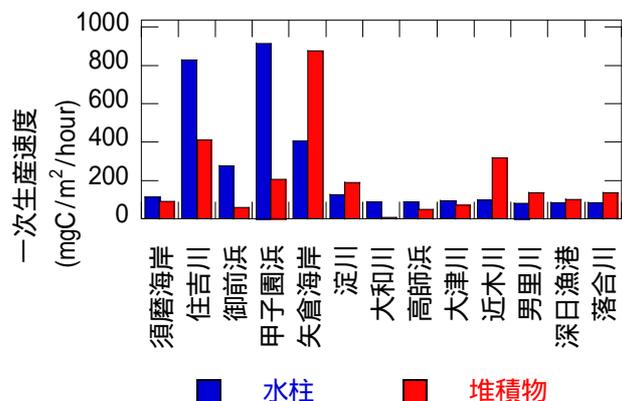


図-2 単位面積あたりの一次生産速度

それ以外の月は吸収であり、一年を通して尼崎運河はCO₂を吸収していた。

植物プランクトンの一次生産速度を図-4、動物プランクトンとコウロエンカワヒバリガイの二次生産速度を図-5、図-6に示す。一次生産速度は9月が最も高く、909-7145 (平均値±標準偏差:4146±1818) mgC/m²/day で変動した。動物プランクトンの二次生産速度は6月が最も高く、1.3-112.1 (平均:31.5±38.5) mgC/m²/day で変動した。コウロエンカワヒバリガイの二次生産速度は6月が最も高く、-856.4-1377.9 (平均値±標準偏差:4146±1818:323±504) mgC/m²/day で変動した。12月の生産速度がマイナスを示しているが、これは11月にコウロエンカワヒバリガイが脱落したためである。

年間を通した尼崎運河の生態系構造を図-7に示す。植物プランクトンの現存量は1338±781 mgC/m²、動物プランクトンの現存量は104±131 mgC/m²、コウロエンカワヒバリガイの現存量は39446±27487 mgC/m²であった。また、植物プランクトンによる一次生産から動物プランクトンおよびコウロエンカワヒバリガイへの転送効率は、それぞれ0.76%、7.8%であった。大阪湾、瀬戸内海における植物プランクトンから動物プランクトンへの転送効率はそれぞれ8.4% (城ら, 1983), 28% (上, 1999) であることが報告されており、尼崎運河の転送効率の0.76%は低かった。一方で、コウロエンカワヒバリガイは植物プランクトンを餌として、摂餌・同化して自身の生産に利用していることが伺える。したがって、植物プランクトンから動物プランクトンへ高次の生物に有機物が移行していないことから、動物プランクトンを餌とする魚類の現存量へ影響していることが示唆される。

本研究においてCO₂フラックスは一年を通して吸収傾向にあり、尼崎運河は大気から水中へCO₂を吸収していることがわかった。また、植物プランクトンの現存量および生産速度が高いのに対して、動物プランクトンの個体数および生産速度は低かった。尼崎運河では、コウロエンカワヒバリガイが植物プランクトンを餌とすることで現存量、生産速度が高く、生態系構造において炭素を多く固定していることが明らかになった。

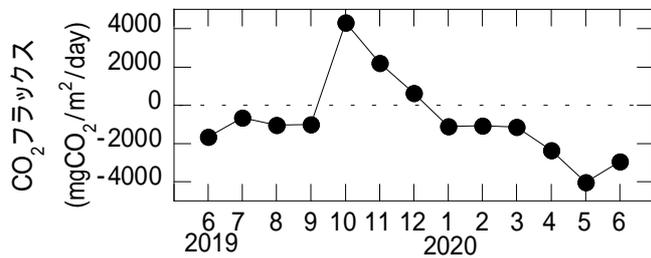


図-3 CO₂フラックス(正:大気への放出,負:水面,堆積物への吸収)

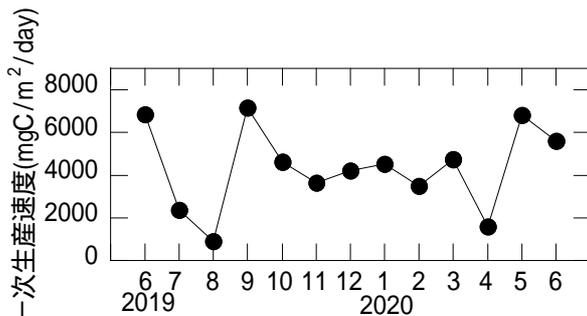


図-4 植物プランクトンの一次生産速度

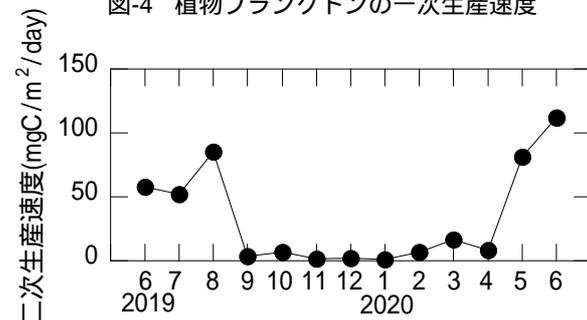


図-5 動物プランクトンの二次生産速度

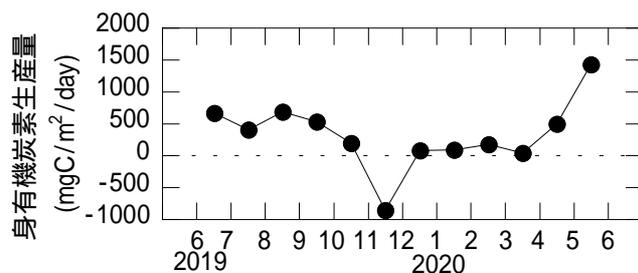


図-6 コウロエンカワヒバリガイの二次生産速度

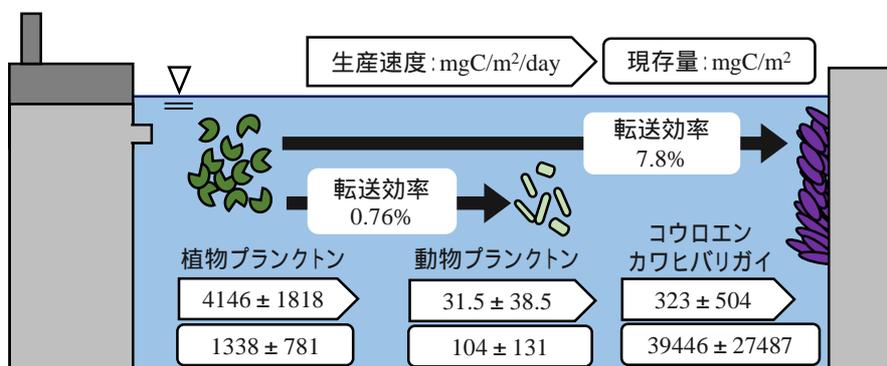


図-7 年間を通した低次生態系の現存量,生産速度(平均値±標準偏差)および転送効率

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 大谷壮介, 上月康則, 藤嶋康平, 田中駿佑, 湯浅翔太, 中井喬也, 山中亮一	4. 巻 Vol. 77, No. 2
2. 論文標題 過栄養域の尼崎運河における浮遊生態系の炭素フローの特性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集 B2-77 (海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_877-I_882.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.77.2_I_877	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sosuke Otani, Ryoichi Yamanaka, Yasunori Kozuki, Kohei Fujishima, Masayuki Hirata	4. 巻 63
2. 論文標題 Spatial and temporal distribution of carbon dioxide flux in the Amagasaki Canal, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 422-432
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21664250.2021.1964231	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 藤嶋康平, 大谷壮介
2. 発表標題 尼崎運河の二酸化炭素分圧の季節変化と要因解析
3. 学会等名 2020 度土木学会関西支部年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 徳田邦洋, 大谷壮介
2. 発表標題 大阪湾沿岸域の干潟における水面と堆積物の二酸化炭素フラックスの関係
3. 学会等名 2020度土木学会関西支部年次学術講演会
4. 発表年 2020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
---------	---------