

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：24402

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18145

研究課題名(和文) 都市沿岸域に存在する人工湿地のCO<sub>2</sub>収支における基礎生産者の寄与の定量評価研究課題名(英文) Effect of primary producer on the CO<sub>2</sub> balance of an artificial tidal flat constructed in urban coastal area

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：都市沿岸域におけるブルーカーボン機能の活用には、炭素動態における基礎生産者による寄与を把握することが重要となる。本研究は、都市沿岸域に造成された人工干潟を対象に、干潟干出面と海水面におけるCO<sub>2</sub>収支を明らかにするとともに、干潟内の炭素動態における植物プランクトンの炭素吸収効果を評価することを目的とした。干潟干出面と海水面におけるCO<sub>2</sub>フラックスの24時間観測結果から、当該人工干潟は全ての季節でCO<sub>2</sub>の吸収源となっており、干出面に現存する底生微細藻類の影響が大きいことが明らかとなった。一方、海水中の炭素動態における植物プランクトンの寄与は1から3割程度と推定された。

研究成果の概要(英文)：It is important to grasp the contribution of primary producers in carbon dynamics to utilize the blue carbon function in urban coastal areas. The purpose of this study was to clarify the CO<sub>2</sub> balance between air and the intertidal flat or sea, and to estimate the contribution of phytoplankton in the carbon dynamics of an artificial tidal flat constructed in urban coastal zone. The observation data of air-sea and air-intertidal flat CO<sub>2</sub> fluxes suggested that the tidal flat played as a CO<sub>2</sub> sink in all season and the effects was greatly affected by benthic microalgae. On the other hand, the contribution of phytoplankton in carbon dynamics in seawater was estimated to be about 10 to 30%.

研究分野：水圏環境工学

キーワード：ブルーカーボン 人工干潟 底生微細藻類 植物プランクトン CO<sub>2</sub>フラックス 総生産

## 1. 研究開始当初の背景

沿岸域に存在する干潟や藻場などの湿地は、生物の生息場としてだけでなく食料生産・水質浄化・親水機能など様々な生態系サービスを有しており、都市沿岸域において重要な場である。近年では、新たな機能として温室効果ガスである二酸化炭素の固定・吸収（ブルーカーボン）が注目されており、湿地における炭素循環の調査研究が行われている。国連環境計画（UNEP）によると、地球上で1年間に排出されるCO<sub>2</sub>約72億トンのうち、海洋に吸収されているCO<sub>2</sub>は約22億トンで、さらに2から4億トンが浅海域で吸収されていると報告されている。四方を海で囲まれた我が国において、低炭素社会の実現に向けた取り組みとして、沿岸域におけるブルーカーボン機能を無視するわけにはいかない。ただし、ブルーカーボン機能はその場の生態系に強く依存するため、この機能を有効に活用するためには地域特性に応じた炭素循環機構を定量的に把握する必要がある。特に、本研究で対象とする都市沿岸域の干潟は、人間活動の影響を強く受けるとともに、外海に比べて生物活性が高いためCO<sub>2</sub>循環が活発に行われていると考えられる。しかしながら、都市沿岸域のブルーカーボンに関する知見はまだ少なく、ブルーカーボン機能を活用するためには科学的な知見の蓄積が課題となっている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、都市沿岸域に造成された人工干潟を対象に、干潟のCO<sub>2</sub>収支に対する基礎生産者の寄与を評価することである。この中で、干潟全体の見かけのCO<sub>2</sub>収支を把握するため、干潟の干出面と海水面におけるCO<sub>2</sub>フラックスを評価するとともに、基礎生産者として水中の植物プランクトンに着目し、植物プランクトンの炭素吸収能について評価した。

## 3. 研究の方法

### (1) 干潟干出面、海水面のCO<sub>2</sub>フラックス

大阪市の港湾海域に造成された大阪南港野鳥園の人工干潟において、2014年5月13、14日（春）、8月5、6日（夏）、11月4、5日（秋）、2015年2月3、4日（冬）に実施したCO<sub>2</sub>フラックスの24時間観測結果を基に、干潟干出面と海水面のCO<sub>2</sub>収支を整理した。干出面フラックスの測定は、アクリル製のチャンパーで干出面を覆い、チャンパー内のCO<sub>2</sub>濃度の時間変化からフラックスを求めた。この時、光合成と呼吸の影響を含む明条件と呼吸のみの暗条件でフラックスを測定し、両者の差から干出面に生息する底生微細藻類の総光合成速度を求め、光強度との関係について整理した。海水面のフラックス測定には、

プラスチック製の透明な容器を浮輪に固定して水面へ浮かべ、容器内のCO<sub>2</sub>濃度変化からフラックスを求めた。海面フラックスは、間接的に海水中内での生物作用が影響するものの、大気と海水中の濃度勾配に依存するものと考え、明条件のみの見かけのCO<sub>2</sub>フラックスについて検討した。

### (2) 野鳥園人工干潟のCO<sub>2</sub>収支

潮汐に伴って変化する干潟干出面と海水面の面積の時間変動量と水位の関係を明らかにするため、野鳥園人工干潟の地形測量を実施した。干潟干出面についてはレベルを用いた水準測量を実施し、海水中は歩行により任意地点の水深と位置情報を記録して水深測量を実施した。この測量結果を基に、潮位により変動する干出面と海水面の面積と、24時間調査で得られたCO<sub>2</sub>フラックスの時間変化を積算し、調査日毎のCO<sub>2</sub>収支を評価した。

### (3) 植物プランクトンの炭素吸収量

野鳥園に現存する植物プランクトンによる炭素の吸収量を把握するため、光合成実験を実施した。実験は、現地で採水した海水を実験室へ持ち帰り、初期のDO飽和度が60~70%となるように窒素曝気により調整し、培養実験とクロロフィルa（以後、Chl.a）濃度の分析を実施した。培養実験では、試水を容量約100mlの酸素瓶に取り分けて、人工気象器内で光強度と温度を一定条件で培養し、培養前後のDIC濃度から光合成による炭素吸収量を測定した。この時、光合成と呼吸・分解の影響が含まれる明瓶と、アルミ箔で覆って光合成の影響を除いた暗瓶の2種類準備した。Chl.a濃度の分析は、Whatmann GF/Cガラスファイバーフィルターで試水500mlをろ過し、ろ紙を90%アセトン溶液に浸して抽出したクロロフィルとフェオフィチンの蛍光値を蛍光光度計で測定した。実験条件は、水温：Tを10、20、30°Cの3通りとし、各ケースにつき光量子：Iを50、100、200、400、800 μmol/m<sup>2</sup>/secの合計15ケース実施し、単位Chl.a当たりの総光合成量を求めた。

### (4) 植物プランクトンの炭素吸収量

植物プランクトンの炭素吸収量の季節変化を把握するため、2015年7月から2016年5月にかけて、植物プランクトンの現存量調査を2カ月毎に実施した。調査は、野鳥園人工干潟を17区画に分け、ポータブル多項目水質計で水温、塩分、Chl.aの蛍光強度の鉛直分布を測定した。ここで、調査日毎にCTDによる蛍光強度とアセトン抽出法によるChl.a濃度の検量線を作成し、この検量線を基にCTDで測定した蛍光強度からChl.a濃度を求めた。

### (5) 野鳥園の炭素動態における植物プランクトンの影響評価

野鳥園北池における炭素動態と植物プラ

ンクトンの炭素吸収の関係を明らかにするため、2016年10月25日から26日にかけて、2時間ごとに炭素動態調査を実施した。炭素動態要因として、①植物プランクトンの光合成、②水中内の呼吸・分解、③大気海水間の交換、④外海水との交換、⑤海域内の炭素保有量の増減、について調査した。

#### 4. 研究成果

(1) 干潟干出面、海水面のCO<sub>2</sub>フラックス  
干出面の明条件で測定された見かけのフラックスは、春：-13.3~5.8 mg/m<sup>2</sup>/min、夏：-11.5~-0.3 mg/m<sup>2</sup>/min、秋：-16.4~5.3 mg/m<sup>2</sup>/min、冬：-2.9~2.9 mg/m<sup>2</sup>/min（負は吸収、正は排出）であった。昼間は、底生微細藻類の光合成の影響が呼吸や有機物分解の影響より大きくなりCO<sub>2</sub>を吸収していた。しかし、気温の低い冬季は吸収・放出ともほとんどなかった。一方、干潟干出面に生息する底生微細藻類の総光合成量は、春：2.4~15.3 mg/m<sup>2</sup>/min、夏：6.7~28.9 mg/m<sup>2</sup>/min、秋：6.1~22.8 mg/m<sup>2</sup>/min、冬：2.0~4.2 mg/m<sup>2</sup>/minであり、夏季と秋季の光合成活性が高かった。また、夏季と秋季は日照時間も長く、底生微細藻類により相当のCO<sub>2</sub>が吸収されていると考えられる。この結果を踏まえて、堆積物表面の単位Chl.aあたりの総光合成量： $P_g$  求め、光強度： $I$  との関係について、既報のいくつかのモデル式で近似した結果、野鳥園の干潟干出面における底生微細藻類の総光合成量は、式(1)の強光阻害型のモデルで推定することが可能であることが示唆された。

$$P = P_m I / I_{opt} \exp(1 - I / I_{opt}) \quad (1)$$

ここに、 $P_m$ ：最大光合成量、 $I_{opt}$ ：最適光量である。ただし、 $P_m$ と $I_{opt}$ は泥温から推定可能である。

一方、海水面の見かけのフラックスは、春：-1.4~1.1 mg/m<sup>2</sup>/min、夏：-2.5~2.0 mg/m<sup>2</sup>/min、秋：-1.6~1.4 mg/m<sup>2</sup>/min、冬：-1.4~1.0 mg/m<sup>2</sup>/minであった。海水面のフラックスの変動特性として、季節的な違いはあまり見られなかったが、フラックスの変動範囲は干出面の見かけのフラックスと比べて1オーダー程度小さかった。また、海水面の見かけのフラックスと水質との関係を整理した結果、pHとの間には負の相関性が見られたが、水温および植物プランクトンの現存量の指標となるChl.aの蛍光強度との間に相関は見られなかった。これは、大気海水間のCO<sub>2</sub>交換が海面直上と直下のCO<sub>2</sub>濃度差による物理拡散により生じるため、植物プランクトンは水中内のCO<sub>2</sub>の吸収には関与しているが、気液界面のCO<sub>2</sub>交換に直接的に影響しているものではないためと考えられる。

#### (2) 野鳥園人工干潟のCO<sub>2</sub>収支

1日当たりのCO<sub>2</sub>収支は、干潟干出面では春：-54.3、夏：-33.9、秋：-15.2、冬：4.7 kg/日（負は大気から吸収、正は大気への排出）で、冬季以外はCO<sub>2</sub>の吸収源となっていた。

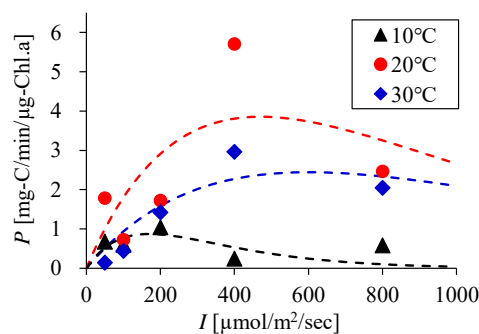


図1 植物プランクトンのChl.a当たりの光合成量： $P$ と光量子量： $I$ の関係

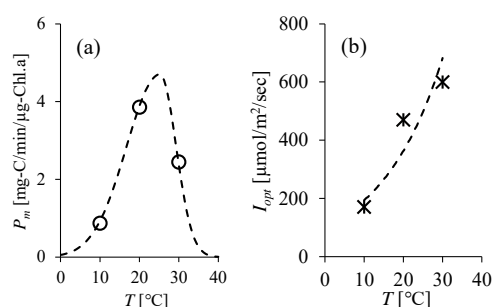


図2 最大光合成量： $P_m$ および最適光量： $I_{opt}$ と水温の関係

一方、海水面では、春：4.8、夏：1.4、秋：7.7、冬：-17.0 kg/日で、干出面とは逆に海水面は冬季のみCO<sub>2</sub>の吸収源となっていた。干潟干出面と海水面の収支に季節的な違いはあったものの、野鳥園北池全体の収支としては、-7.5~-49.5 kg/日であり、全ての調査日で大気CO<sub>2</sub>を吸収していることが明らかとなった。また、干潟部における底生微細藻類の吸収効果が大部分を占めており、干潟生態系における炭素吸収効果における底生微細藻類の寄与は大きいことが明らかとなった。

#### (3) 植物プランクトンの炭素吸収量

光合成実験で得られたChl.aあたりの総光合成量： $P$ と光量子量： $I$ の関係を図1に示す。各水温の $P$ は、 $I$ が200~600 μmol/m<sup>2</sup>/sec 辺りまでは光量の増加に伴って大きくなるが、それより光量が増加すると小さくなる傾向が確認できる。また、光条件が同じ場合の水温毎の $P$ を比較すると、 $P$ は水温が20°Cの時が高く、水温が10°Cの時が小さくなっており、 $P$ の光と水温に対する依存性が確認できる。植物プランクトンの光合成速度と光強度の関係についても、式(1)に示すような強光阻害型のモデル式で近似し、各水温の $P_m$ および $I_{opt}$ を求めた結果(図1破線)、水温10°C、20°C、30°Cの $P_m$ は0.87、3.85、2.44で、 $I_{opt}$ は170、470、600となった。図2(左)に $P_m$ と水温の関係を示す。 $P_m$ と水温の関係は式(2)、(3)のように定式化した。

$$P_m = P_m' \exp\{-\beta_1 (T - T_{opt})^2\} \dots T \leq T_{opt} \quad (2)$$

$$P_m = P_m' \exp\{-\beta_2 (T_{opt} - T)^2\} \dots T > T_{opt} \quad (3)$$

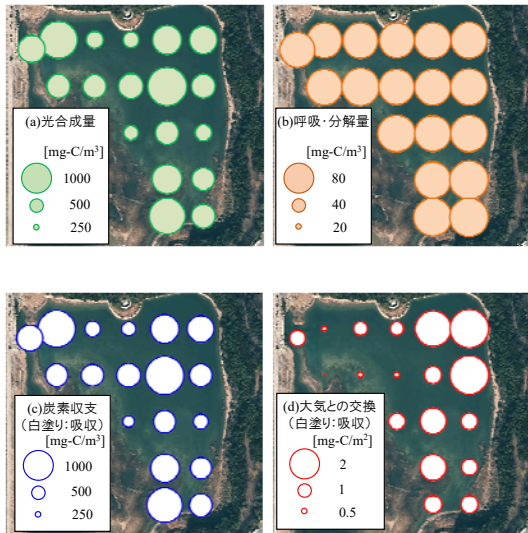


図3 2016年5月25日の野鳥園人工干潟における、(a)植物プランクトンの光合成量、(b)海水中内の呼吸・分解量、(c)海水中の炭素収支（白塗り：吸収）、(d)大気海水間の炭素交換量の空間分布（白塗り：海域への吸収）

ここで、 $\beta_1$  と  $\beta_2$  は水温に対する尖度、 $P_m'$  は  $P_m$  の最大値、 $T_{opt}$  は  $P_m$  の最適温度である。最小二乗法により本実験結果から各パラメータを求めると、 $\beta_1 = 0.007$ 、 $\beta_2 = 0.03$ 、 $P_m' = 4.7$ 、 $T_{opt} = 25.2$  であった。次に図2（右）に  $I_{opt}$  と水温の関係を示す。 $I_{opt}$  についてはアレニウスの式に従うとして、最小二乗法により式(4)のように定式化した。

$$I_{opt} = 102.9 \exp(0.063T) \quad (4)$$

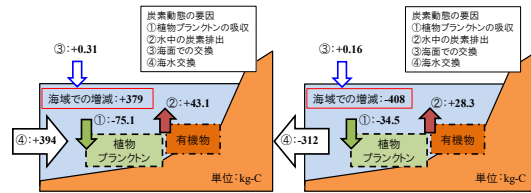
#### (4) 植物プランクトンの炭素吸収量

図3に2016年5月25日の日中時における単位時間当たりの(a)植物プランクトンの炭素吸収量、(b)海水中内での呼吸・分解量、(c)海水中の炭素収支、(d)気液界面の炭素交換量を示す。単位水量当たりの植物プランクトンの光合成量は  $478 \sim 1,230 \text{ mg-C/m}^3$  で、外海水との交換部や北池との交換が行われる通水部で比較的大きな値を示していた。呼吸・分解量は、 $80 \sim 88 \text{ mg-C/m}^3$  で、光合成量に対して1オーダー小さく、また、空間的变化は小さかった光合成量と呼吸・分解量の収支は、 $394 \sim 1,148 \text{ mg-C/m}^3$  で、いずれの区間においても、光合成が呼吸・分解量よりも影響が大きく、水中で炭素が吸収されていた。一方、大気海水間の交換量は、 $0.14 \sim 2.22 \text{ mg-C/m}^2$  で、常に大気から海面へ炭素が吸収されていた。調査日毎の北池全体における植物プランクトンの光合成量、海中の呼吸・分解量、大気海水間の移動量を表1に示す。2016年3月9日は雨天のため日射量が小さくなり、他の調査日と比べて光合成活性が小さかった。このため、光合成量より呼吸・分解量が勝り炭素収支としては海中への炭素の放出であった。しかし、雨天の3月9日を除くと、海中の炭素収支は全ての調査日で植物プラン

表1 野鳥園人工干潟の海中の光合成量と呼吸・分解量と大気からの炭素取り込み量

単位 [kg-C]	海中			大気からの 取り込み量
	光合成 量	呼吸・ 分解量	収支*	
2015/7/15	2.2	1.0	-1.2	0.059
2015/9/16	81.7	2.9	-78.9	0.057
2015/11/25	1.6	1.2	-0.4	0.019
2016/1/27	3.2	1.1	-2.0	0.075
2016/3/9	0.5	0.7	0.1	0.110
2016/5/25	13.0	1.3	-11.7	0.049

\*正が海中へ炭素の排出、負が海中から炭素の吸収



(a)日照時（7-18時）(b)炭素減少時（5-11時）

図4 北池の日照時と炭素減少時の炭素動態

クトンに吸収されていた。一方、大気海水間の炭素交換は調査期間中、常に大気からの吸収となっていた。2015年9月は秋のブルームの影響により植物プランクトンが増殖していたため、約80kgの炭素が植物プランクトンに吸収されていたが、両者の相関性は低く、海中での植物プランクトンの炭素の吸収そのものが大気海水間の交換に大きな影響は及ぼしていないものと考えられる。

以上から、北池における植物プランクトンの光合成量は、水温が低くなると小さくなるが、年間を合計すると大気から炭素を吸収していた。

#### (5) 野鳥園の炭素動態における植物プランクトンの影響評価

植物プランクトンの吸収は、日照とともに増加している傾向が確認でき、呼吸・分解による海中内での炭素排出量の日変動は小さい。また、海中の炭素保有量は、海水交換による流入と流出の影響が大きく、潮汐に伴い外海から流入することで北池の保有量が大きくなった。調査期間内の収支について、北池内で炭素が302.5kg増加したのに対して、植物プランクトンによる吸収が34.7kg、呼吸・分解による排出が41.7kg、大気からの取り込みが0.24kg、外海からの流入が114kgであった。収支が0とならないのは、今回測定していない海底堆積物からの排出や魚類やベントス類の水生生物による呼吸の影響が含まれていないことが原因として考えられる。これらの点について検討の余地が残っているが、本調査結果によると北池内の増加量に対する植物プランクトンの吸収量は1割程度しかなく、干潟内における炭素動態は、海水交換や水生生物等の生物活性の影響が大

きいことが示唆された。

日中と夜間の植物プランクトンの光合成量と呼吸・分解量の平均値は、日中の呼吸・分解量が 4.1 kg-C/hour、夜間の呼吸・分解量は 3.48 kg-C/hour で日変化はあまりなかった。一方、日中の光合成量は 5.8 kg-C/hour で呼吸・分解量よりも大きかった。このことから、1 日の炭素収支としては排出であるが、日中は植物プランクトンにより海中の炭素が吸収されているといえる。

そこで、日照時、海域内での炭素減少時に分けて炭素動態を整理したものを図 4 に示す。植物プランクトンが光合成により炭素を吸収する日照時には、海域内で炭素が 379 kg 増加したのに対して、植物プランクトンは 75.1 kg の吸収、外海からの流入が 394 kg で植物プランクトンは炭素を吸収するものの、外海からの流入量が 5 倍程度大きく、湿地内の炭素は外海水との交換による影響を強く受けることがわかった。炭素減少時は、海域内で 408kg 減少に対して、外海への流出が 312kg、植物プランクトンの吸収が 34.5kg で 1 割程度の寄与であった。ただし、流出の影響を除くと、3 割程度であり、それ以外は今回は測定していない底生微細藻類や大型藻類の影響であると考えられた。

#### 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 2 件)

- ① 遠藤 徹, 川崎太輝: 大阪南港野鳥園北池の炭素動態における植物プランクトンの炭素吸収量の評価, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, 73(2), 1369-1374, 2017.  
[https://doi.org/10.2208/kaigan.73.I\\_1369](https://doi.org/10.2208/kaigan.73.I_1369)
- ② 遠藤 徹, 中野雄介, 筏 紀晶: 都市沿岸域の人工湿地における干潟干出面、海水面および海底面の CO<sub>2</sub> 交換の評価手法, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, 72(2), 1447-1452, 2016.  
[https://doi.org/10.2208/kaigan.72.I\\_1447](https://doi.org/10.2208/kaigan.72.I_1447)

[学会発表] (計 5 件)

- ① 遠藤 徹, 川崎太輝: 大阪南港野鳥園北池の炭素動態における植物プランクトンの炭素吸収量の評価, 第 64 回海岸工学講演会, 2017 年 10 月 25 日~27 日, TKP 札幌駅カンファレンスセンター.
- ② 遠藤 徹・川崎太輝・筏 紀明・中野雄介: 都市沿岸域に存在する人工干潟の CO<sub>2</sub> 吸収に関する現地調査, 第 51 回日本水環境学会年会, 2017 年 3 月 15 日~17 日, 熊本大学.
- ③ 川崎太輝・遠藤 徹: 都市沿岸域の人工湿地における植物プランクトンの二酸化炭素の吸収量の把握, 第 7 回日本水環境学会関西支部研究発表会, 2016 年 12

月 2 日, 大阪工業大学うめきたナレッジセンター.

- ④ 遠藤 徹, 中野雄介, 筏 紀晶: 都市沿岸域の人工湿地における干潟干出面、海水面および海底面の CO<sub>2</sub> 交換の評価手法, 第 63 回海岸工学講演会, 2016 年 11 月 16 日~18 日, 大阪大学中之島センター.
- ⑤ Toru Endo, Yusuke Nakano and Noriaki Ikada: Estimation of Carbon Budget and Storage in an Artificial Salt Marsh Constructed in Urban Coastal Area, Civil Engineering Conference in the Asian Region CECAR 7, August 30 – September 2, 2016, WAIKIKI, Oahu, Hawaii.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

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

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

なし

##### (4) 研究協力者

なし