

都市沿岸域の人工塩性湿地における

季節変化に着目した CO₂ 吸収及び排出特性に関する研究

A STUDY ON CHARACTERISTICS OF CO₂ ABSORPTION AND EMISSION FOCUSED ON SEASONAL CHANGES AT AN ARTIFICIAL SALT MARSH IN URBAN COASTAL AREA

環境水域工学分野 中野 雄介

Laboratory of Estuarine and Coastal Ecosystem Engineering Yusuke NAKANO

近年、地球温暖化対策としての海域における CO₂ 吸収及び排出に関する知見が望まれている。特に沿岸域の知見は乏しく、知見の蓄積は急務である。本研究では、都市沿岸域の人工塩性湿地である大阪南港野鳥園を対象として、各季節における 24 時間観測調査、及び室内実験を行うことにより、各季節の CO₂ 吸収・排出特性の把握、収支の試算を行った。その結果、干潟面の CO₂ 吸収及び排出には光量子と温度が関係していること、対象地の干潟域では全ての季節で CO₂ 吸収傾向であることが明らかになった。

In recent years, knowledge of CO₂ absorption and emission in the coastal area has been desired as measures against global warming. Especially, knowledge of that in the wetland areas is poor, so the accumulation of knowledge is an urgent task. CO₂ fluxes were measured at surface of sea, intertidal area and sea bottom in the north salt marsh in Osaka-Nanko bird sanctuary in order to grasp the characteristics of CO₂ absorption and emission and to estimate CO₂ budget. As a result, the CO₂ absorption and emission in tidal flat surfaces are influenced by photon and temperature. It was found that the salt marsh in Osaka-Nanko bird sanctuary plays a role as CO₂ sink in all seasons.

1. 序論

1.1 研究背景及び目的

海域における CO₂ 吸収及び固定能が陸域に匹敵する可能性が高まっている。特に沿岸域の CO₂ 動態に注目が集まっており、類似研究も散見される。所らは北海道の風蓮湖と沖縄県の吹道川において現地調査を行い、水中に植生が存在する沿岸域では、CO₂ 吸収源となつた¹⁾。田中らは、有明干潟上における CO₂ フラックスを渦相関法で測定し、5 月から 6 月前半にかけては吸収、それ以外では放出していたと報告した²⁾。間野らは、アラスカ州沿岸の湛水ツンドラにおける植物生育期間に、渦相関法により CO₂ フラックスを測定し、湛水ツンドラ植生が CO₂ 吸収に果たす役割は大きいと報告した³⁾。

人為的な影響が大きく、炭素動態が複雑であると考えられる都市沿岸域を対象とした研究は少ない。また、多くが渦相関法を使用している。そして、都市沿岸域のように、人為的に管理することが可能である場所の CO₂ 動態の把握は、将来的に地球温暖化対策として利用するためには不可欠であると考えられる。

本研究では、CO₂ 収支に関する 24 時間観測を各季節で行い、日・季節変動特性、干潟・海水面の面積変化を考慮した CO₂ 収支を明らかにすることを目的とする。

1.2 調査対象地について

大阪南港野鳥園は、大阪府咲洲に位置する人工塩性湿地である。施設面積は 19.3ha であり、12.8ha が湿地として存在する。湿地は北池、西池、南池に分かれ、底質は砂泥質である⁴⁾。本研究では、海水交換が行われるための導水管が設置されている北池を対象とした(図-1)。

2. 干潟面と大気間の CO₂ 吸収及び排出

2.1 調査概要

干潟面の調査は地点 B において行い(図-1)、2014 年 5 月 13 日 18 時から 14 日 17 時(春季)、8 月 5 日 18 時から 6 日 17 時(夏季)、11 月 4 日 17 時から 5 日 16 時(秋季)、2015 年 2 月 3 日 15 時から 4 日 14 時(冬季)の計 4 回行った。観測は干潟面が干出している時間帯のみ行った。調査方法はチャンバー法(明条件・暗条件)を用いた(図-2)。チャンバーは容積 12.7L、開口部 0.0615m² の物を用い、チャンバー内の CO₂ 濃度を拡散式 CO₂ 濃度計(T&D 製、TR-76Ui)により 30 秒間隔で測定し、1 時間ごとの CO₂ フラックスを算出した。長時間の調査ではチャンバー内部の環境が変質してしまうため、1 時間おきに換気し、換気後 10 分間のデータを使用することでその問題の軽減を図った(図-3)。また、チャンバー内に攪拌モーター

を設置し、内部環境の均一化を行った。環境因子としては、光量子、気温、大気中 CO₂ 濃度、泥中温度、泥中クロロフィル a 量を測定した。光量子は、小型メモリー式光量子計(JFE アドバンテック、DEFI-L)により 5 分間隔で測定し、気温と大気中 CO₂ 濃度は拡散式 CO₂ 濃度計(T&D 製、TR-76Ui)により 30 秒間隔で測定した。泥中温度は防水温度ロガー(Climattec、CO-UTI-001)により 1 分間隔で測定した。泥中クロロフィル a 量は、調査終了時に調査地点の泥をコアサンプラーにより持ち帰り、アセトン抽出法により計測した。

2.2 調査結果

観測された干潟面と大気間の CO₂ フラックス(+は排出, -は吸収)は季節ごとに、春季: -8.04 ~ 2.76mgCO₂/m²/min, 夏季: -7.48 ~ -1.15mgCO₂/m²/min, 秋季: -10.9 ~ 3.63mgCO₂/m²/min, 冬季: -3.08 ~ 1.35mgCO₂/m²/min であった。1 日を通した CO₂ 吸収及び排出の様子は、季節に関わらず、夜間は排出傾向、日中は吸収傾向にあることが分かった(図-5)。各調査日の泥中のクロロフィル a 量の季節変化を以下に示す(図-4)。春季に 94 mgChl-a/m², 夏季に 131 mgChl-a/m², 秋季に 297 mgChl-a/m², 冬季に 70 mgChl-a/m² であり、春季から秋季にかけて増加し、秋季で最大値を示し、冬季にかけて減少していくことが見受けられた。

2.3 考察

干潟面の CO₂ 吸収には光合成が寄与していると考えられるため、光量子量と底中クロロフィル a 量に着目して CO₂ フラックスとの関係を調べた。明チャンバーの CO₂ フラックス(見かけのフラックス)は他の底生生物類の呼吸による影響を含んでいる。純粋な吸収量を算定するためには、暗チャンバーの値(呼吸による排出量)を除去しなければならない。この純粋な吸収量を総生産フラックスとする。この総生産フラックスを調査地点のクロロフィル a 量で除することで、単位クロロフィル a あたりの総生産フラックス(mgCO₂/mgChl-a/min)を求めた。

植物プランクトンによる、任意光量下における光合成速度を表す式としては、以下の式がある(式-1)⁵。

$$P^B = P_m^B \tanh(\alpha I / P_m^B) - R^B \quad (\text{式-1})$$

ここで、 P^B は光合成速度、 P_m^B は任意温度における最大光合成速度、 α は勾配、 I は任意光量、 R^B は呼吸速度を表す。各季節の P^B を推定するため、 P_m^B に現地調査で得られた単位クロロフィル a あたりの最大総生産フラックスを代入した。 I に調査時の光量子量を代入し、 α には、図-7 の近似式の傾きが 1 にもっとも近くなる値(小数第 5 位まで)を代入した。 R^B は呼吸の影響を除かれている総生産フラックスを P_m^B として使用しているため、 $R^B = 0$ とできる。光量子量と単位クロロフィル a あた

りの総生産フラックスの関係と(式-1)による推定値と現地調査による実測値に關係を示す(図-7)。春季、夏季、秋季は、推定値と実測値の比較において決定係数が順に 0.69(n=9, p<0.05), 0.88(n=10, p<0.05), 0.55(n=8, p<0.05) と高い相関が見られた。よって、春季、夏季、秋季において、特有の α と最大総生産フラックス、光量子量から、その季節の干潟面における CO₂ 吸収量が推定できることが示唆された。しかし、冬季に着目すると、推定値と実測値の比較における決定係数が -0.05(n=6, p>0.05) であることから、冬季においては(式-1)によって推定できないことが分かった。一般的に、光合成の律速要因としては、光、温度、湿度、CO₂ 濃度などが挙げられる。ここで、冬季における光合成の律速条件に着目すると、他

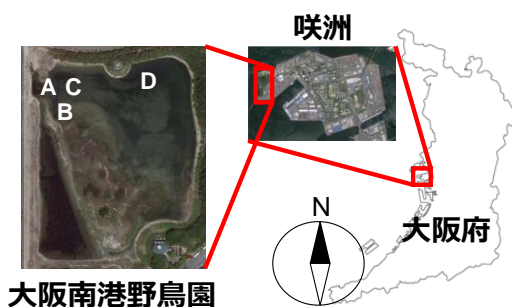


図-1 大阪南港野鳥園の位置情報

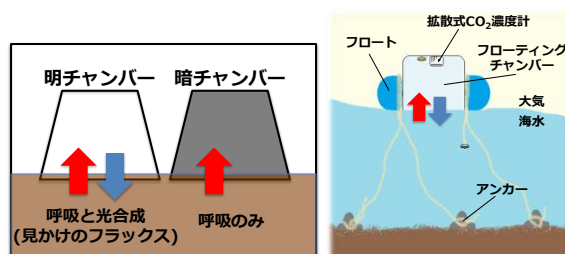


図-2 チャンバー法とフローティングチャンバー法

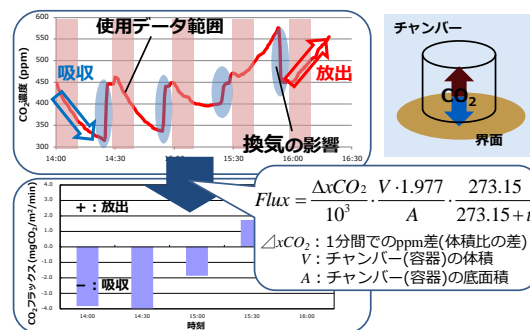


図-3 CO₂ フラックス算出方法

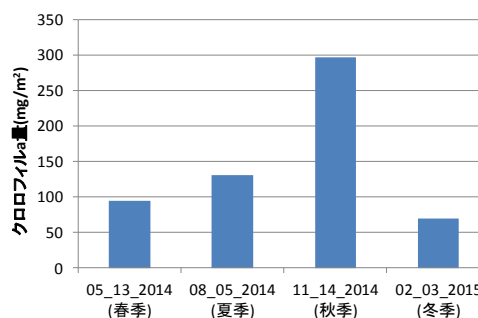


図-4 各調査日におけるクロロフィル a 量

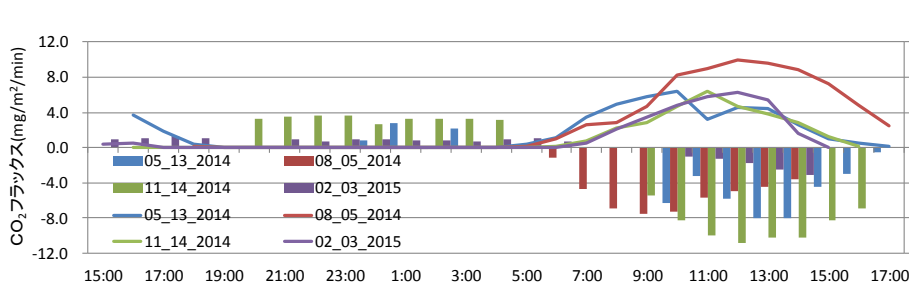


図-5 明チャンバーの CO₂ flux と光子量子量の時間変化

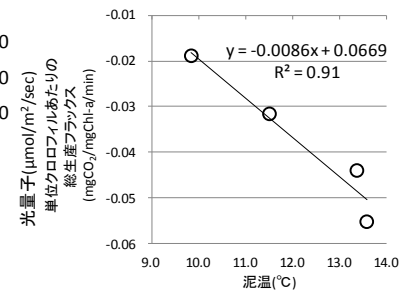


図-6 総生産 flux と泥温の関係(冬季日中)

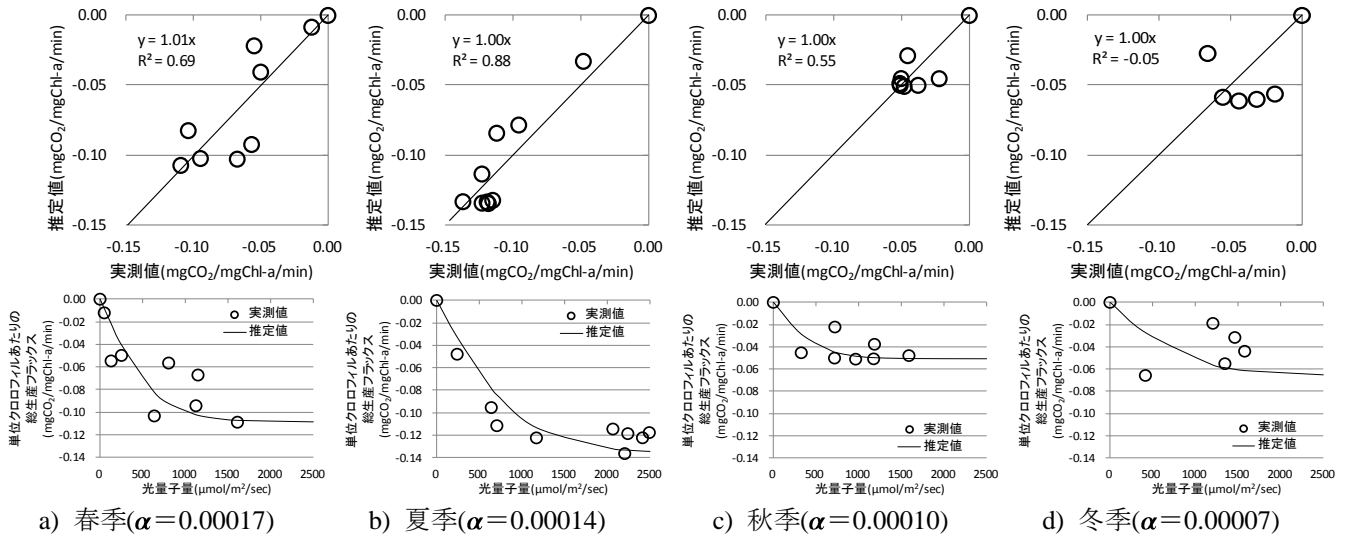


図-7 式 2-3 による推定値と実測値の比較, 及び光子量子量との関係

の季節に比べて気温が低いことから、温度律速の影響が大きいのではないかと予想された。よって、泥温との関係について見てみると図-6 のようになった。決定係数 0.91(n=4, p<0.05)と高い相関が得られたことから、冬季の CO₂ 吸収は温度による影響が大きいと示唆された。また、夏季と冬季における温度係数 Q_{10} について調べたところ、夏季が $Q_{10}=1.7$ 、冬季が $Q_{10}=5.5$ となった。Migneらは底生微細藻類の光合成に関する Q_{10} は、1.2(8月)から 3.0(12月)まで変化すると報告している¹³⁾。また、田中らは高水温期における吸収フラックスと堆積物温度について、 Q_{10} は 1.84 と報告している¹⁴⁾。本研究における Q_{10} も既往研究と同程度であり、夏季から冬季にかけて Q_{10} が大きくなるという既往の報告とも一致している。よって、干潟面における CO₂ 吸収は気温が下がるにつれて、温度律速の影響が大きくなり、夏季よりも冬季の方がその影響は大きいということが分かった。

3. 海面と大気間の CO₂ 吸収及び排出

3.1 調査概要

大阪南港野鳥園北池で地点 A において(図-1)、干潟面の調査と同日時に 24 時間観測を行った。調査方法はフローティングチャンバー法を用いた(図-2)。チャンバーは容積 14.3L、開口部 0.057m²の物を用い、チャンバー内の CO₂ 濃度を拡散式 CO₂ 濃度計(T&D 製, TR-76Ui)により 30 秒間隔で測定し、1 時間ごとの CO₂ フラックス

を算出した。環境因子データとして、水質(水温、塩分、クロロフィル a 蛍光量、pH、水中の DIC 濃度)を 1 時間ごとに測定した。水質について、pH はポータブル pH 計(東亜 DKK, HM-30P)、それ以外は多項目水質系(JFE アドバンテック, Compact-CTD)、水中の DIC 濃度は全炭酸法によって気化した CO₂ 濃度を NDIR CO₂ 濃度計(VAISALA 社, GMP343)により測定した。

3.2 調査結果

海面と大気間の CO₂ フラックスは春季: -0.26~1.07mgCO₂/m²/min, 夏季: -1.32~1.37mgCO₂/m²/min, 秋季: -0.43~0.71mgCO₂/m²/min, 冬季: -0.80~0.15mgCO₂/m²/min であった。干潟面と比べると、吸収量は約 1/30~1/4 程度であり、排出量は約 1/9~1/3 程度であり、各季節、変動の様子に規則性は見られなかった。

3.3 考察

既往研究データと本研究における現地調査結果との比較を表-1 に示す¹⁾³⁾。これより、フローティングチャンバー法よりも渦相関法の結果の方が、大きな値を示していることが分かった。渦相関法は測定機器を高所にすることから、広範囲の影響が含まれてしまい、その結果、過大評価してしまった可能性が考えられる。

海面における CO₂ フラックスに影響を及ぼす環境要因としては、クロロフィル a 蛍光量、塩分、水温、pH、

CO₂濃度(大気), CO₂濃度(水中), 風速, DICなどが挙げられる⁶⁾. これらにCO₂分圧差(大気-水中)を加え, これらの環境要因とCO₂フラックスとの相関関係について調べた(表-2). 相関関係が最も強かったのはpHであった. よって, 海水面のCO₂フラックスはpHによって推定できるのではと思われたが, 海水のpHは, 大気からのCO₂溶解, 生物の呼吸による影響により非常に変化しやすく, また, それに伴うpHの変動によりCO₂(aq)の存在比が変化し, その結果, 再びpHが変動するといった, 相互的に複雑な変化を伴うため⁷⁾, pHによって海水面のCO₂フラックスを一意的に推定するのは不適であると考えられる. これらのことから, 海水面のCO₂フラックスは, 複数の環境要因が相互的に影響し合うことで成り立っていることが予想されるので, 複数の環境パラメータから算定を行うバルク法に着目した. バルク式は以下の式で示される(式-2~式-7)⁸⁾⁻¹²⁾.

$$CO_2flux = -K \cdot \Delta pCO_2 \quad (式-2)$$

$$K = 0.088 \cdot k \cdot L \quad (式-3)$$

$$k = 0.31u_{10}^2(S_c/S_{c20})^{-0.5} \quad (式-4)$$

$$S_c = 2073.1 - 125.62t + 3.6276t^2 - 0.043219t^3 \quad (式-5)$$

$$\log L = -58.0931 + 90.5069T'^{-1} + 22.294T' \quad (式-6)$$

$$+ (0.027766 - 0.025888T' + 0.0050578T'^2) \cdot S$$

$$T' = (T + 273.15)/100 \quad (式-7)$$

ここで, CO_2flux はCO₂フラックス(mol/m²/year)を示し, K はガス交換係数(mol/m²/year/μatm), ΔpCO_2 はCO₂分圧差((大気-海水)μatm), k はガス交換速度(cm/hour), L は海水へのCO₂の溶解度(mol/L/atm), u_{10} は水面から高度10mにおける風速(m/s), S_c は海水中におけるCO₂のシュミット数, S_{c20} は水温20°Cの海水中におけるCO₂のシュミット数, t は水温(°C), S は塩分(‰)を示す. 式中の経験的な係数については R.F.Weiss(1974), Rik Wanninkhof(1992)によるものを用いた^{9),12)}. これらの式に, 現地調査で得られた水温, 塩分, CO₂分圧差を代入し, 海水面におけるCO₂フラックスを算出した(図-8). バルク法による算定値とフローティングチャンバー法による実測値を比較すると, バルク法による結果の平均値の方が負の方向に有意に大きいという結果になった(夏季: $t=5.70, df=21, p<0.001$, 秋季: $t=6.87, df=25, p<0.001$, 冬季: $t=3.24, df=25, p<0.01$). すなわち, バルク法ではフローティングチャンバー法よりもCO₂吸収量を過大に評価してしまうことが示唆された. この要因としては, バルク法は一般的に外洋を対象としており, 経験的な係数も干潟冠水域まではサポート出来ていなかったことなどが考えられる. また, バルク法は風速の影響が大きいく, 外洋よりも干潟冠水域は風の影響を受けにくいことが考えられ, それも過大評価に繋がったと予想される.

結果的に, 海水面と大気間のCO₂収支は, 水中におけるpHと炭酸系のドラスティックな反応が大きな影響

を及ぼしており, CO₂収支の推定を行うためにはそれらの反応を把握した上で, 他の環境要因の影響を加味しなければならないことが考えられる. 現状では, それらの相互要因を全て追うことは難しいと考えられるため, 人的労力の点でデメリットがあるものの, 界面を直接的に観測できるフローティングチャンバー法が, 定量評価には向いているのではないかと思われる.

4. 海水と底泥間のCO₂の吸収及び排出

4.1 実験方法

本実験のサンプルは, 大阪南港野鳥園北池冠水部の導水管に近い地点Cと遠い地点Dで採取した(図-1).

海水と底泥間のCO₂収支について調べるために, 底泥の未攪乱コアサンプルによるDIC溶出実験を行った. 地点C, Dにおいて, 底泥を直上水ごとアクリルパイプ(内径45mm, 長さ500mm)により, 各地点3本ずつ採取(底泥部が約100mm程度)し, ブランクサンプルとして採水ボトル(容積2L)で採取地点の直上水のみを各地点1本ずつ採取した. それらを中身の試料を乱さないように実験室に持ち帰り, 持ち帰ってすぐに温度勾配恒温器(NKsystem, TG-180-5L)に各実験条件(後述)下で馴致した. 初期値として, 各試料の直上水のDIC濃度を全炭酸法で測定し, pHとDOの測定をポータブルマルチメータ(東亜DKK, HACH, HQ40d)で行った. その後, 恒温器の中に各実験条件下で保管し, 初期値測定日から, 1, 3, 6, 10日後で測定を行った. DIC濃度については, 各地点のコアサンプル3本の平均値を各測定日, 各地点の代表値とした. 実験条件として, 暗条件, 温度条件として10°C, 20°C, 30°Cの全3ケース行った.

4.2 考察

海底面におけるCO₂フラックスに影響を及ぼす要因について, 海底面での推定CO₂フラックスを被説明変数に, 各種パラメータ(DIC濃度, pH, DO)の日平均変動値(変動値/day)を説明変数として重回帰分析を行った(表-3, n=24). 海底面におけるCO₂フラックスとの関係性として, DIC濃度変化(p<0.05)とDO変化(p<0.05)が有意であり, pH変化(p>0.05)が有意でなかった. また, 影響度としてはDIC濃度変化(t=6.16), DO変化(t=2.13)の順に大きく, 暗条件における海底面のCO₂フラックスはDIC濃度とDOから推定できることが示唆された.

5. 大阪南港野鳥園北池全体での収支

5.1 試算方法

調査で得られた各界面のCO₂フラックスについて, 時間倍, 面積倍することにより, 北池全体での各季節の一日のCO₂収支を試算した. CO₂フラックスについて, 一時間ごとの代表値として1分当たり, 1m²当たりの移

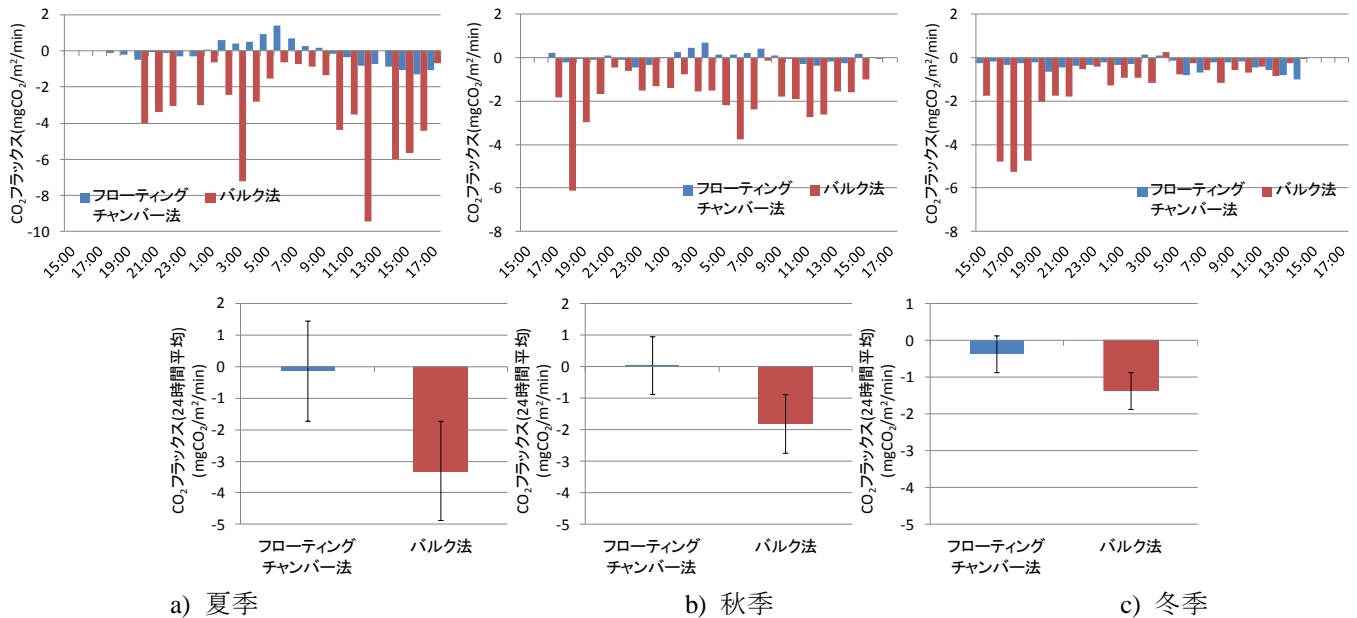


図-8 測定法の違いによる CO₂ フラックスの違いについて(CO₂ フラックスの時間変化(上)と平均値の違い(下))

動量を算出したが、これを1時間当たり、大阪南港野鳥園北池全体あたりに換算した。これらについての24時間分の和を求めたものを各季節の1日当たりの大阪南港野鳥園北池全体でのCO₂収支とした。また、海水面と干潟面の面積については、潮汐に伴って変化するため、大阪南港野鳥園北池の地形を把握して、そこから水位変動を考慮して各面積を算出する必要があった。よって複数の任意点について、湿地干出部について水準測量を行い、湿地冠水部について深淺測量を行うことで対象地形を把握した。そして、得られた地形情報と各調査日の水位変動から干潟面と海水面の面積を算出した。

5.2 試算結果

図-10より干潟面積は、春季に1752~19296m²、夏季に3325~14754m²、秋季に2508~25634m²、冬季に1959~19882m²で変化していた。海水面積は、春季に26146~43690m²、夏季は30688~42117m²、秋季に19808~42933m²、冬季に25559~43482m²で変化していた。干潟面積に比べて海水面積の方が4~6倍程度大きく、一時的に干潟面積と海水面積が同程度になる時刻があるものの、全体的に海水面積が大半を占める割合が多かった。

次に、得られた干潟面積と海水面積、CO₂フラックスから、各調査日における各界面での1日のCO₂収支(kgCO₂/day, +:排出, -:吸収)の試算結果を示す(表-4, 図-11)。北池湿地における収支は、春季に28.8kgCO₂/dayの吸収、夏季に37.5kgCO₂/dayの吸収、秋季に12.0kgCO₂/dayの吸収、冬季に17.0kgCO₂/dayの吸収であり、全期間でCO₂吸収傾向であった。干潟面では冬季以外CO₂吸収傾向であり、冬季のみCO₂排出傾向を示した。海水面では春季と秋季にCO₂排出傾向、夏季と冬季に吸収傾向であり、互いに違う傾向を示した。

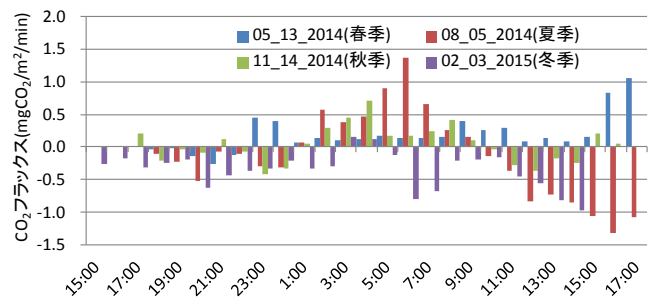


図-9 海水面におけるCO₂フラックスの時間変化

表-1 本研究結果と既往研究データとの比較

対象地	指標	測定手法	CO ₂ flux (+: 排出, -: 吸収) mgCO ₂ /m ² /min	参考
大阪南港野鳥園 (日本)	CO ₂	フローティング チャンバー法	-1.32~1.37	本研究
北海道風蓮湖 (日本)	CO ₂	フローティング チャンバー法	-0.18~0.16	所ら(2013)
	CO ₂	渦相関法	-3.85~1.11	
沖縄県吹通川河口 (日本)	CO ₂	フローティング チャンバー法	0.32	田中ら(2006)
	CO ₂	渦相関法	-3.27~0.16	
有明海干潟域 (日本)	CO ₂	渦相関法	-18.0~30.0	Migneら(2007)
アラスカ州湿水ツンドラ (アメリカ)	CO ₂	渦相関法	-12.36~1.11	

表-2 海水面における各季節のCO₂フラックスと影響を及ぼす環境要因の相関係数

CO ₂ flux	クロロフィル 蛍光量	塩分	水温	pH	CO ₂ 濃度 (大気中)	CO ₂ 濃度 (水中)	CO ₂ 分圧差 (大気-水中)	風速	DIC (水中)
春季	n.d.	-0.44	-0.16	n.d.	-0.16	n.d.	n.d.	-0.21	n.d.
夏季	-0.48	0.53	-0.43	-0.97	0.72	0.86	-0.84	-0.08	0.64
秋季	-0.01	0.33	0.20	-0.72	0.46	0.48	-0.42	-0.05	-0.17
冬季	0.23	-0.09	-0.10	-0.77	-0.46	0.28	-0.43	0.50	0.12

海底面について、CO₂収支の試算結果は全季節で排出傾向であった。排出量としては、夏季が最も大きく50.0kgCO₂/dayであった。次点で春季が14.2kgCO₂/day、そして秋季が13.9kgCO₂/dayであり、最小が冬季で10.1kgCO₂/dayであった。

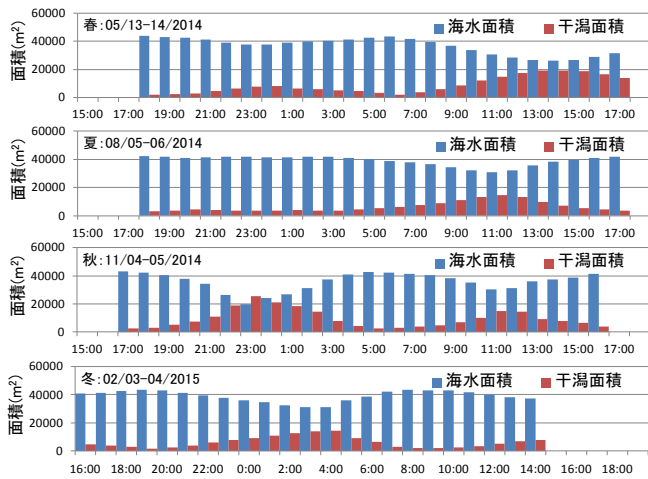


図-10 海水面積と干潟面積の時間変化

表-3 海底面の CO₂ フラックスに関わる要因

被説明変数	CO ₂ フラックス(mgCO ₂ /m ² /min)	t値	p値	関係性
説明変数				
DIC濃度変化(mM/day)	6.16	p<0.05		有意
pH変化(/day)	-0.40	p>0.05		有意でない
DO変化(mg/L/day)	2.13	p<0.05		有意

表-4 大阪南港野鳥園北池の収支(+が排出, -が吸収)

	春(05/13-14/2014) (kgCO ₂ /day)	夏(08/05-06/2014) (kgCO ₂ /day)	秋(11/04-05/2014) (kgCO ₂ /day)	冬(02/03-04/2015) (kgCO ₂ /day)
対象界面	収支 (排出, 吸収)	収支 (排出, 吸収)	収支 (排出, 吸収)	収支 (排出, 吸収)
海水面	9.2 (+10.6, -1.4)	-7.2 (+11.5, -18.7)	3.2 (+7.4, -4.2)	-20.2 (+0.5, -20.7)
干潟面	-38.0 (+8.8, -46.8)	-30.3 (+51.3, -81.6)	-15.2 (+46.6, -61.8)	3.2 (+12.0, -8.8)
合計	-28.8	-37.5	-12.0	-17.0

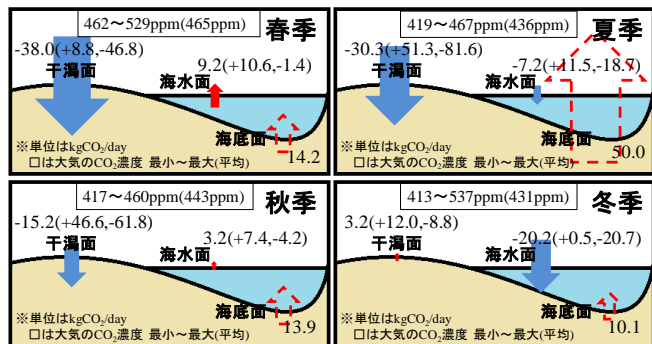


図-11 各海面における試算による CO₂ 収支の模式図

6. 結論

本研究では、都市沿岸域に造成された人工塩性湿地における CO₂ 収支について明らかにするために、①干潟面について、チャンパー法による四季の 24 時間調査を行い、季節・日変化の結果、影響要因について考察した。②海水面について、フローティングチャンパー法による四季の 24 時間調査を行い、季節・日変化の結果、影響要因について考察した。③海底面について、現地サンプルを用いた DIC 溶出実験を行うことにより、CO₂ 排出に関する影響要因について考察を行った。そして、④得られた各界面における各季節の CO₂ 収支の結果から、干潟域全体における CO₂ 収支について試算した。

上記より、以下のことが明らかになった。

- ① 干潟面の CO₂ 吸収には光合成の影響が大きい。また、気温が高い季節は光速度の影響が大きく、気温が低くなると温度速度の影響が大きくなる。
- ② 海水面の CO₂ 収支は、pH、炭酸系などが複雑に影響し合い、これらからの CO₂ 収支の推定は困難である。また、渦相関法やバルク法は過大評価してしまう可能性があり、フローティングチャンパー法が最適である。
- ③ 海底面の CO₂ 収支は、海水中の DIC 濃度が最も影響度が大きく、次いで DO の影響が大きい。
- ④ 大阪南港野鳥園北池湿地における CO₂ 収支は、全季節で CO₂ 吸収傾向であり、春季に 28.8kgCO₂/day の吸収、夏季に 37.5kgCO₂/day の吸収、秋季に 12.0 kgCO₂/day の吸収、冬季に 17.0 kgCO₂/day の吸収であった。

参考文献

- 1) 所立樹, 細川真也, 三好英一, 門谷茂, 茅根創, 桑江朝比呂(2013): 沿岸域のブルーカーボンと大気中 CO₂ の吸収との関連性に関する現地調査と解析, 港湾空港技術研究所報告, 第 52 巻, 第 1 号。
- 2) 田中健路, 滝川清(2006): 有明海干潟上における二酸化炭素フラックス観測, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp.1136-1140。
- 3) 間野正美, 原菌芳信, 宮田明, Rommel C.ZULUETA, Walter C.OECHEL(2003): Alaska 州 Barrow の湛水ツンドラにおける 2000 年度植物生育期間の CO₂ フラックスの季節変化と CO₂ 収支, 農業気象, 第 59 巻(2), pp.141-154。
- 4) 大阪南港野鳥園 HP: <http://www.osaka-nankou-bird-sanctuary.com/>, 最終閲覧日 2015 年 12 月 25 日。
- 5) Alan D.Jassby and Trevor Platt(1976): Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, Limnology and Oceanography, Vol.21, No.4, pp.540-547。
- 6) 田多一史, 所立樹, 渡辺謙太, 桑江朝比呂(2013): 浅海域における大気-海水間 CO₂ フラックスの予測手法の検討, 土木学会論文集, 第 69 巻, 第 2 号, pp.1416-1420。
- 7) 石井雅男, 吉川久幸, 松枝秀和(2000): 電量滴定法による海水中の全炭酸濃度の高精度分析および大気中の二酸化炭素と海水中の全炭酸の放射性同位体比の測定, 気象研究所報告, 第 41 号。
- 8) 杉本裕之, 平石直孝(2010): 太平洋における大気-海洋間の二酸化炭素フラックス推定手法の開発, 測候時報, 第 77 巻, 特別号。
- 9) Rik Wanninkhof(1992): Relationship Between Wind Speed and Gas Exchange Over the Ocean, Journal of Geophysical Research, Vol.97, No.C5, pp.7373-7382。
- 10) 藤井智康, 藤原建紀, 中山浩一郎(2013): 大阪湾東部の二酸化炭素の放出・吸収量, 土木学会論文集, 第 69 巻, 第 2 号, pp.1111-1115。
- 11) 土木学会水理委員会(1999): 水理公式集, 土木学会, pp.591。
- 12) R.F.Weiss(1974): Carbon dioxide in water and seawater: the solubility of a non-ideal gas, Marine Chemistry, Vol.2, pp.203-215。
- 13) A. Migne, N. Spilmont, D. Davoult(2004): In situ measurements of benthic primary production during emersion: seasonal variations and annual production in the Bay of Somme(estern English Channel,France), Continental Shelf Research, Vol.24, pp.1437-pp.1449。
- 14) 田中俊行, 遠藤徹, 筏紀晶, 矢持進(2016): 大阪南港野鳥園北池塩性湿地における高水温期の CO₂ 吸排出特性, 土木学会論文集 B2 分冊, Vol.72, No.1, pp.1-pp.11。

討議

討議 [矢持先生]

気温が低くなるにつれて、光律速から温度律速に移るとあるが、その原因とその温度はどれくらいか？

回答

夏季などは温度条件が十分に満たされているため、0～2500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ 程度まで日変化する光量子により律速されると考えられる。しかし、冬季は温度条件が一日中満たされないと考えられ、光律速よりも温度律速の方が優先されるのではないかと考えられる。

また、光律速から温度律速に移る温度条件については、秋季から光との関係性が低くなってきていることを考慮すると、秋季の平均泥温である約16 $^{\circ}\text{C}$ 以下になると温度律速の影響が大きくなってくると考えられる。

討議 [矢持先生]

チャンバー法において、明チャンバーでは測定開始から少し経つとCO₂濃度が100～200ppm程度まで低下すると思われるが、CO₂律速の影響は考慮しているのか？

回答

一般的に、植物の光合成は飽和光量下において、CO₂濃度100～200ppm程度で律速の影響があると言われており、本研究におけるCO₂フラックスの算出において、測定開始時点から約10分間のデータを使用して算出しており、その間ではCO₂濃度はまれに200ppm以下になることはあるが、100ppmまでは達していなかった。また、本研究での明チャンバーにおける日中1時間のCO₂濃度の低下を見ると、60ppm付近で著しく濃度の低下が抑えられていた。よって、100ppm以下は算出に含めていないため、CO₂律速の影響は非常に小さいと考えられる。計算に使用した10分間でのCO₂濃度変化はほぼ直線的であるが、少し曲線的になっているところもあり、そのCO₂律速については考慮出来ていない。

討議 [矢持先生]

海底面のCO₂収支について、現地調査ではなく室内実験により推定を行っているが、なぜ室内実験なのか？

回答

海底面のCO₂収支について、現地調査を24時間行って把握することが人的労力の点で非常に困難であったため、今回は室内実験により収支の推定を試みた。

討議 [西岡先生]

チャンバー法とバルク法において、その空間的な代表はどこを示しているのか？

回答

チャンバー法については、チャンバー内部のCO₂測定点である。バルク法については、風速測定地点である、水面から上空3m付近と計算で使用される上空10mである。

討議 [西岡先生]

チャンバー法は風の影響を受けない特殊な環境での測定法であるのに、そのチャンバー法の方が適しているのはなぜか？

回答

水面におけるCO₂の交換は、風速や大気との分圧差が重要である。しかし、干潟冠水面は渦関法やバルク法が用いられる外洋と違い、生物相の影響が非常に強いことが考えられる。また、干潟冠水面は周辺の植生の影響などにより、風の影響を受けにくいことが考えられる。よって、風の影響は考慮出来ないものの、生物相や他の様々な要因を含めて、対象界面を直接測定できるチャンバー法が干潟冠水面では最適な方法であると考えられる。