都市沿岸域の人工湿地におけるCO₂フラックスの四季調査とCO₂吸収・放出量の推定

遠藤 徹¹・中野 雄介²・筏 紀晶³・田中 俊行⁴・
嶋野 純平³・宮脇 康平³・矢持 進⁵

¹正会員 大阪市立大学大学院講師 工学研究科都市系専攻 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)
E-mail:t.endo@eng.osaka-cu.ac.jp

²非会員 大阪市立大学大学院前期博士過程 工学研究科 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

³学生会員 大阪市立大学大学院前期博士過程 工学研究科 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

⁴正会員 オルガノ株式会社 生産建設部 (〒136-8631 東京都江東区新砂1-2-8)

⁵正会員 大阪市立大学大学院教授 工学研究科都市系専攻 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

大阪南港野鳥園北池の干潟干出面と海水面でCO₂フラックスの24時間調査を季節ごとに実施した。干出面の見かけのフラックスは、-16.4~5.8 mg/m²/min (正：放出，負：吸収)で変動していたが、冬季は吸収も放出もほとんどなかった。一方、海水面の見かけのフラックスは、-2.5~2.0 mg/m²/minで、変動傾向は季節によって大きな違いは見られなかった。また、各フラックスと環境因子との関係を整理したところ、干出面の放出フラックスは泥温との間に、海水面のフラックスはpHとの間にそれぞれ相関が確認でき、単位クロロフィルa当たりの吸収量は最大光合成量と光量子量によって近似できることを確認した。最後に、潮汐により変化する干出面と海水面の面積とフラックスの日変化を考慮して湿地全体のCO₂収支を計算した結果、野鳥園北池は全ての調査日でCO₂の吸収源であることが分かった。

Key Words : CO₂ flux, CO₂ budget, 24-hour field investigation, Salt marsh, Urban coastal zone

1. はじめに

近年、地球温暖化対策の一つとして海洋生態系による炭素の固定機能「ブルーカーボン」が注目されており、海域における炭素循環機構の解明のため、浅海域の湿地から内湾、さらに全地球スケールを対象として炭素動態に関する調査研究が実施されている。特に、沿岸域は外海に比べて生物活性が高いため、複雑かつ活発に炭素が循環する場である。また、沿岸域は人為的な管理が可能な場でもあるため、このような海域の炭素循環メカニズムを把握することは将来的にブルーカーボン機能を活用するための重要な知見となる。

このような背景の中、寺田ら¹⁾は石垣島吸通川のマングローブ域を対象に、水域内のTOC収支と大気-海水間のガス輸送量を測定しマングローブ生態系が炭素貯蔵庫として機能することを報告している。また、Tokoro²⁾らは、寒帯の風連湖、温帯の久里浜、亜熱帯の吹通川のアマモ場を対象にCO₂フラックスを実測し、沿岸域の海草場はCO₂の吸収源であると報告している。さらに、大谷ら³⁾は、河口干潟に生息するヘナタリの現存量調査を実施し、含有炭素量から炭素収支を求め、河口干潟ではヘ

ナタリにより炭素が固定されると報告している。このように、沿岸域は地域特有の生態系が形成されるため、様々な地域の炭素循環の把握が必要になる。一方、著者ら⁴⁾は、人間活動の影響を強く受ける都市沿岸域の湿地を対象として、干潟干出面と海水面でCO₂フラックスの24時間観測を実施した。その結果、単位面積当たりの各界面のCO₂収支を求めたところ、秋季の干潟干出面は放出の場であった。しかし、干潟は潮位によって干出面と海水面の面積が変化するため、面積を考慮した湿地全体のCO₂収支で評価する必要がある。また、調査日が秋季の1日のみであり、季節的な特性については検討できなかった。

そこで本研究では、大阪市港湾海域に造成された人工湿地で、干潟干出面と海水面でCO₂フラックスの24時間観測を季節ごとに実施し、季節的な変動特性を把握するとともに、フラックスと面積の時間変化を考慮した湿地全体の収支を評価することを目的とした。

2. 現地調査概要

(1) 調査対象エリア

図-1 大阪南港野鳥園北池と調査地点

本研究では、大阪市の港湾海域に造成された大阪南港野鳥園を対象とした。野鳥園は1983年に大阪湾岸一帯に生息する水鳥を中心とした野鳥の保護を目的として造成され、現在は臨港緑地として管理されている。施設面積19.3haのうち湿地部は12.8haで、北池・西池・南池からなる(図-1参照)。野鳥園北池は、 $58 \sim 144 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ の窒素固定能を有していることが報告されており⁵⁾、鳥類等の貴重な生息場であるとともに、水質浄化機能を有する重要な湿地となっている。しかし近年、グリーンタイドによる底質環境悪化が深刻化しており⁶⁾、管理を含め様々な機能の調査研究が行われている。本研究では、湿地の新たな機能として、炭素循環機能に着目した。

調査は、導水管による外海水との海水交換が大きい北池を対象とし、干潟干出面と海水面のフラックスを測定した。野鳥園は埋め立てにより造成された湿地であるため、北池の縁辺部は勾配が急で、ほとんど干出ししない。このため、勾配が穏やかで潮汐により干満を繰り返す地点Aを干潟干出面の測定地点に選定した。ただし、後述の干潟干出面の光合成量に関しては、測定地点の底質に現存するクロロフィルa量で除すことにより、底質の違いによる影響をできるだけ除去した。また、海水面に関しては導水管による外海水との海水交換の影響を受ける地点Bで実施した。

(2) 調査期間

本研究では、季節毎に24時間観測を実施した。野鳥園は休園日である水曜日しか調査が実施できないため、火曜の閉園時間から木曜の開園時間までを対象として、四季のうち大潮に近い次の日を選定した。調査日時は、2014年5月13日19時から14日18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)で、1時間ごとにフラックスの観測を実施した。

(3) 調査項目

a) CO_2 フラックス

図-2 干潟干出面および海水面フラックスの調査方法と環境因子の測定項目

フラックス調査手法には、渦相関法、バルク法、チャンバー法がある。渦相関法は大気乱流理論に基づき大気中の風速と CO_2 濃度から求める方法で、田中ら⁷⁾は有明海に観測塔を設置し渦相関法で干潟面上の CO_2 フラックスを測定している。本方法は、比較的広い範囲を対象として長時間の観測が可能であるが、高額な計測機器が必要であり、また、界面毎のフラックスを評価するのが困難である。バルク法は界面を挟む2点間の濃度差と交換速度の積で求める方法で、主に海水面のフラックスを計測する際に用いられ、田多ら⁸⁾は風連湖でバルク法により大気-海水間のフラックスを測定し各環境因子との関係を整理している。本方法は、対象とする界面のフラックスを直接かつ連続的に測定できるが、交換速度の値がフラックスの精度に大きく影響する。特に、干潟干出面のように生物層が存在するような場合、交換速度の設定が困難である。そこで、本研究では海面に容器内を設置し、容器内の CO_2 濃度の時間変化からフラックスを求めるチャンバー法を採用した。

図-2に示すように、干潟干出面では、底面積： $5.72 \times 10^2 \text{ m}^2$ 、容積：12.7 Lの容器内を設置し、海水面では、底面積： $5.74 \times 10^2 \text{ m}^2$ 、容積：14.3 Lの容器を浮き輪で海水面に浮かべ、容器内の CO_2 濃度の1分毎の時間変化を拡散式 CO_2 濃度計(株式会社T&D製：TR-76Ui)で測定した。チャンバー内は、 CO_2 濃度を均一にするため攪拌用モーターを設置した。ただし、チャンバー内部の環境は時間の経過とともに徐々に外部の環境と異なるため、換気のために1時間毎に設置し直し、フラックスの算出にはチャンバー設置後10分間のデータを用いた。

干潟干出面では、堆積物表層に存在する底生微細藻類の光合成やベントスの呼吸、有機物の分解により、大気中の CO_2 と直接的に交換が行われる。このため、明条件と暗条件でフラックスを測定し、光合成と呼吸の両者の影響が含まれる明条件で測定されたフラックスを見かけのフラックス、光合成の影響を除去した暗条件を放出フラックス： F_e 、両者の差を総光合成による吸収フラックス： F_a とし、吸収・放出特性について検討した。また、海水面では明条件の見かけのフラックスのみ測定した。

 図-3 干潟干出面および海水面のCO₂フラックスの季節別時間変化 (正：放出，負：吸収)

 図-4 干潟干出面の吸収フラックス： F_a と光量子量の季節別時間変化

b) 底質

干潟干出面の吸収・放出特性について検討するため、底質項目として、泥温とクロロフィルa濃度を測定した。泥温は、調査地点の堆積物中に小型温度計測ロガー (Onset社：ティドビットv2) を設置し、1分毎に測定した。また、クロロフィルa濃度は、調査終了後に堆積物のコアを分析室へ持ち帰り、アセトン抽出法により堆積物表層に現存するクロロフィルa濃度を分析した。

c) 気象

フラックスと気象条件との関係を整理するため、風向風速、大気CO₂濃度、気温、光量子量を測定した。干潟干出面に観測アレイを設置し、干出面上 2.0 m地点の風向風速をデータロガー式風向風速計 (RainWise社：MWWindLog) で、CO₂濃度と気温を拡散式CO₂濃度計 (株式会社T&D：TR-76Ui) でそれぞれ10分間隔で測定した。また、小型メモリー式光量子計 (JFEアドバンテック：COMPACT-LW) を干潟干出面に設置し、10分間隔で光量子量を測定した。

d) 水質

水質項目として、水温、塩分、クロロフィルaの蛍光強度、pH、DO濃度、DIC濃度を測定した。水温、塩分、クロロフィルaの蛍光強度は、多項目水質計 (JFEアドバンテック：Compact-CTD) で1時間毎に測定した。また、フローティングチャンバー直下の海水を1時間毎に採水し、pHはポータブルpH計 (東亜DKK：HM-30P) で、DOは蛍光式溶存酸素計 (HACH社：HQ-40d) で測定した。また、DIC濃度は試水を強酸性条件にして試水中の

全炭酸をすべてCO₂ガスとして気化させ、CO₂ガスをNDIR CO₂計 (VAISALA社：GMP343) で測定して求めた。

(4) フラックスの算出

フラックスは、各チャンバー内のCO₂濃度の時間変化から式(1)により求めた。容器内の気温変化の影響を無視するため、CO₂濃度は20℃、1気圧を標準状態として補正した。

$$F = \frac{\Delta C \cdot \frac{1013(273+T)}{293 \cdot p} \cdot M \cdot V}{22.4 \cdot A \cdot \Delta t} \times 10^{-3} \quad (1)$$

ここで、 ΔC は1分ごとのCO₂濃度差[ppm]、 T はチャンバー内の気温[℃]、 M はCO₂の分子量で44[g]、 V は容積[L]、 A は底面積[m²]、 Δt は測定時間間隔で1[min]である。チャンパー設置後10分間のデータから1分毎のフラックスを求め、その平均値を測定時間における代表値とした。

(5) 地形測量

野鳥園北池は導水管で外海とつながった潟湖干潟であるため、潮汐によって干潟干出部と海水面の面積が変動する。このため、湿地全体のCO₂収支を求めるためには、面積の時間変動を考慮する必要がある。そこで、干出面と海水面の面積と水位との関係を整理するため地形測量を実施した。干潟干出部についてはレベルを用いた面水準測量を実施した。また、海中は歩行により海中を移動し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。

図-5 干潟干出面の見かけの CO_2 フラックスと環境因子（大気 CO_2 濃度、気温、泥温）との関係

図-6 干出面の放出フラックス： F_e と環境因子（大気 CO_2 濃度、気温、泥温）との関係

3. 調査結果

(1) 干潟干出面および海水面の CO_2 フラックス

図-3に、干潟干出面と海水面で測定された CO_2 フラックスの季節別の時間変化を示す。干潟干出面については明条件と暗条件の両方を示している。

干出面の明条件で測定された見かけのフラックスは、春季：-13.3～5.8 $\text{mg/m}^2/\text{min}$ 、夏季：-11.5～-0.3 $\text{mg/m}^2/\text{min}$ 、秋季：-16.4～5.3 $\text{mg/m}^2/\text{min}$ 、冬季：-2.9～2.9 $\text{mg/m}^2/\text{min}$ 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_2 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。海水面の見かけのフラックスは、春季：-1.4～1.1 $\text{mg/m}^2/\text{min}$ 、夏季：-2.5～2.0 $\text{mg/m}^2/\text{min}$ 、秋季：-1.6～1.4 $\text{mg/m}^2/\text{min}$ 、冬季：-1.4～1.0 $\text{mg/m}^2/\text{min}$ 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。

干潟干出面の暗条件で計測した放出フラックス： F_e は、春季： $F_e < 3.8 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 、夏季： $4.9 < F_e < 23.5 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 、秋季： $F_e < 13.0 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 、冬季： $F_e < 2.8 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ であり、気温が高くなる夏季に放出が多くなり、特に夏季は常に CO_2 を放出していた。また、日変動特性として、夜間は昼間よりも放出量が小さくなることが確認された。一方、明条件と暗条件の差から求めた吸収フラックス： F_a の季節別時間変化を図-4に示す。 F_a は、春季： $F_a < 15.3 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 、夏季： $F_a < 28.9 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 、秋季： $F_a < 22.8 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 、冬季： $F_a < 4.2 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ で、夏季と秋季の日

図-7 底生微細藻類の吸収量： P_a と泥温、光量子量の関係

照時に多くの CO_2 を吸収していた。

(2) 環境因子との関係

a) 干出面の見かけのフラックス

図-5に、干潟干出面の見かけのフラックスと環境因子との関係を示す。フラックスは大気中の濃度の影響を強く受けることが知られているが、本調査結果によると大気 CO_2 濃度との間に明瞭な関係は見られなかった。これは、見かけのフラックスには、光合成や呼吸などの影響が含まれるためだと思われる。また、気温、泥温との間にも明瞭な相関は見られなかった。

b) 干出面の放出フラックス

図-6に、干潟干出面の放出フラックス： F_e と環境因子との関係を示す。図-5の見かけのフラックスと比べると、風速、気温、泥温との間に正の相関関係が確認でき、特に泥温との間に良い相関性が確認できる。このことから、泥温が高くなることで生物活性が高くなり、 CO_2 の大気への放出が大きくなると考えられる。

c) 底生微細藻類の吸収量

堆積表層に生息する底生微細藻類のプロロフィルaの現存量と吸収フラックス： F_a から、単位プロロフィルa当たりの吸収量： P_a を求め、図-7のように泥温と光量子量との関係を整理した。吸収量： P_a についても放出フラックス： F_e と同様、泥温との間に線形の関係が確認できる。また、 P_a と光量子量との関係をJassby et al.⁹⁾によって妥当性が確認された植物プランクトンの光合成と光量との関係を表した式(2)を基に近似した。

$$P_a = P_a^m \tanh(\alpha I / P_a^m) - R \quad (2)$$

ここで、 P_a^m は最大光合成量、 I は光量子量、 α は係数、 R は呼吸速度で、本研究では呼吸の影響は除去しているため無視した。図-7によると、 P_a は概ね近似似曲線に乗っており、干潟干出面の光合成量についても式(2)により定量的に評価可能であることが確認できた。

d) 海水面フラックス

図-8に、海水面の見かけのフラックスと水質との関係を示す。pHとの間には負の相関性が見られるが、水温および植物プランクトンの現存量の指標となるクロロフ

 図-8 海面CO₂フラックスと環境因子 (pH, 水温, クロロフィルaの蛍光強度, ΔCO₂: 大気と海水のCO₂濃度差) との関係

図-9 大阪南港野鳥園北池の等高線図 (OP基準)

イルaの蛍光強度との間に相関は見られなかった。大気-海水間のCO₂交換は、海面直上と直下のCO₂濃度差による物理拡散により生じる。つまり、植物プランクトンは水中内のCO₂の吸収には関与しているが、気液界面のCO₂交換に直接的に影響しているものではないためと考える。そこで、pHとDIC濃度からCDIACが提供する計算ソフト: CO₂SYS¹⁰⁾を用いて水中のCO₂濃度: P_{CO2w} を推定し、大気中のCO₂濃度: P_{CO2a} との差: $\Delta CO_2 (=P_{CO2w}-P_{CO2a})$ との関係について整理した(図-8の右図)。ただし、春季はDIC濃度を分析していなかったため欠損している。全体的に正の相関が確認できる。特に冬季については、 ΔCO_2 とフラックスは原点(0,0)に対象な相関が取れていることから、大気-海水間におけるガス交換の定性的な妥当性が確認できる。このことから、海水面のCO₂フラックスを評価する上で、DICとpHの計測により評価可能であることが示唆された。ただし、今回の解析では大気中のCO₂濃度を干潟干出面上の測定値を用いた点や、 P_{CO2w} はpHの値に大きく依存することから計測器の精度の問題など、定量的な評価については課題が残っている。

4. 野鳥園北池全体のCO₂収支の計算

地形測量により、図-9に示すような野鳥園北池の等高線図が得られた。この等高線図を基に水位から汀線を求め、干潟干出部と海水面の面積を計算した。図-10に干潟干出部と海水面の面積と水位の季節別時間変化を示す。北池の特徴として、多くの時間帯で海水面の面積は干潟

図-10 干出面および海水面の面積と水位の関係

 表-1 大阪南港野鳥園北池のCO₂収支

単位 [kg-CO ₂ /day]	干潟干出面			海水面	干潟全体 の合計
	収支	内訳		収支	
		放出	吸収		
春：5/13-14	-54.25	8.81	63.07	4.75	-49.50
夏：8/5-6	-33.89	68.26	102.15	1.36	-32.53
秋：11/4-5	-15.19	55.27	70.46	7.68	-7.52
冬：2/3-4	4.67	13.13	8.46	-17.00	-12.33
四季の平均	-98.67	145.48	244.15	-3.22	-101.88

注) 収支は正が放出、負が吸収

面に比べて1オーダー程度大きいことが確認でき、干潮時でも干出部の面積が海水面の面積より大きくなることはなかった。また、冬季は潮位が高く、ほとんど冠水していることが分かる。

図-10の関係を基に、潮位により変動する干潟干出面と海水面の面積と、24時間調査で得られたCO₂フラックスの時間変化から各時間の吸収・排出量を求め、調査日毎に積分した結果を表-1に示す。干潟干出面のCO₂収支は、-54.3~4.7 kg/日で、冬季以外はCO₂の吸収源となっていた。一方、海水面のCO₂収支は、-17.0~7.7 kg/日で、海水面は冬季のみCO₂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のCO₂を吸収していることが明らかとなった。注目すべき点は、フラックスは干出面の方が海水面より大きい、海水面の面積が干出面よりも広い、野鳥園北池の収支においてどちらの影響も重要であることが分かった。

5. 結論

本研究は、都市沿岸域に存在する湿地のCO₂収支を明らかにするため、大阪南港野鳥園北池の干潟干出面と海水面でCO₂フラックスの24時間観測を季節ごとに実施した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 干出面の見かけのCO₂フラックスは、-16.4~5.8 mg/m²/min (正：放出、負：吸収) で変動していたが、冬季は吸収も放出もほとんどなかった。一方、海水面は-2.5~2.0 mg/m²/minで干出面と比べて1オーダー小さく、変動傾向は季節によって大きな違いは見られなかった。
- 2) 各フラックスと環境因子との関係を整理したところ、干潟干出面の放出フラックスは、気温の高い昼間に多くのCO₂を放出しており、泥温と相関がみられた。底生微細藻類の単位クロロフィルa当たりの吸収量は、光量子と最大光合成量で近似可能であることが確認された。海水面フラックスは、pHとΔCO₂ (大気と水中のCO₂濃度差) との間に相関がみられた。
- 3) 潮汐により時間的に変化する干出面と海水面の面積とフラックスの日変動を考慮して野鳥園北池全体の収支を計算した結果、全調査日でCO₂の吸収源となっており、吸収量は7.5~49.5 kg/日であった。

参考文献

- 1) 寺田一美, 鯉渕幸生, 常田岳志, 磯部雅彦: マングローブ水域の炭素収支に及ぼすガス交換機能の定量化, 海岸工学論文集, Vol.55, pp.1186-1190, 2008.
- 2) Tokoro, T., Hosokawa, S., Miyoshi, E., Tada, K.,

- Watanabe, K., Montani, S., Katayama, H., and Kuwae, T.: Netuptake of atmospheric CO₂ by coastal submerged aquatic vegetation, *Global Change Biology*, Vol.20, pp.1873-1884, 2014.
- 3) 大谷壮介, 上月康則, 山中亮一: 河口干潟におけるヘナタリの炭素埋没量に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.67, No.2, pp. I_981-I_985, 2014.
- 4) 遠藤 徹, 中野雄介, 板谷天馬, 筏 紀晶, 矢持進: 都市沿岸域に造成された人工塩性湿地の CO₂ 収支に関する現地調査, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No.2, pp. I_1196-I_1200, 2014.
- 5) Yamochi, S.: Succession of marine fauna and nitrogen budget at two artificial tidal flats in Osaka Bay, Japan, *Marine Pollution*, Vol.57, pp.137-141, 2008.
- 6) Yamochi, S.: 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*, Vol.116, pp.21-28, 2013.
- 7) 田中健路, 滝川 清: 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, Vol.54, pp.1136-1140, 2006.
- 8) 田多一史, 所 立樹, 渡辺謙太, 桑江朝比呂: 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 B2 (海岸工学), Vol.69, No.2, pp.I_1416- I_1420.
- 9) Alan D. Jassby and Trevor Platt: Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, *Limnology and Oceanography*, Vol.21, No.4, pp.540-547, 1976.
- 10) Lewis, E. and Wallace, D.: Program development for CO₂ system calculations, Carbon Dioxide information analysis center, 21p, 1998.

(2015.3.18 受付)

ESTIMATION OF CO₂ BUDGET IN THE ARTIFICIAL SALT MARSH DEVELOPED AT URBAN COASTAL ZONE BY SEASONAL 24-HOUR FIELD INVESTIGATIONS OF CO₂ FLUXES

Toru ENDO, Yusuke NAKANO, Noriaki IKADA, Toshiyuki TANAKA, Junpei SHIMANO, Kohei MIYAWAKI and Susumu YAMACHI

In order to estimate CO₂ budget in a salt marsh in urban coastal zone, 24-hour field investigations of air-sea and air-intertidal flat CO₂ fluxes were conducted at the north salt marsh at Osaka nanko bird sanctuary every season. CO₂ fluxes from intertidal flat to the atmosphere ranged from -16.4 to 5.8 mg/m²/min, but the fluxes of both absorption and emission were very small in winter. On the other hand, CO₂ fluxes from sea surface to the atmosphere ranged from -2.5 to 2.0 mg/m²/min. The variation trends of air-sea fluxes of every seasons were similar. Next, in order to examine the characteristics of CO₂ absorptions and emissions, the relationships between each fluxes and environmental factors were analyzed. It was found that CO₂ emissions from intertidal flat were related with mud temperature and air-sea CO₂ fluxes related with pH. It was confirmed that CO₂ absorptions of intertidal flat could be estimated by photon flux density and microalgal photosynthesis rates. Finally, CO₂ budgets were calculated in consideration of variability characteristic of fluxes and area of intertidal flat and sea surface. It was found that the north salt marsh at Osaka nanko bird sanctuary usually absorbed CO₂ from the atmosphere in all seasons (CO₂ absorptions were 49.5 kg/day in spring, 32.5 kg/day in summer, 7.5 kg/day in fall, and 12.3 kg/day in winter).