

潮汐に伴う堆積物からのCO₂フラックスの変動に関する研究

A Research on the Fluctuation of CO₂ Flux from the Sediment in accompanied with Tidal Change

環境水域工学研究室 藤田哲朗

干潟の水質浄化機能の研究例は多いが、潮汐の変動を考慮している研究例は少ない。本研究では有機物分解量の指標である二酸化炭素(CO₂)フラックスを測定することを目的とし、現地調査および室内実験を行った。現地調査の結果、干出時には地下水位の低下とともにCO₂フラックスは大きくなり、冠水時のCO₂フラックスは干出時と比べ1/8~1/15であった。室内実験では現地調査の検証を行い、水位のみではなく上げ潮と下げ潮の違いによりCO₂フラックスが変化することが示された。There are many researches on the water purification function of a tidal flat. However, few researches were done in consideration with tidal changes. Field surveys and experiments were conducted in order to measure the amount of discharge of the carbon dioxide (CO₂) which is an index of the amount of organic matter decomposition. As a result of the field surveys, CO₂ flux increased with the groundwater level decreased when the bottom sediment emerged. CO₂ flux was less than 1/8 - 1/15 compared with the submerged period. In addition, the result of field surveys was verified through the indoor experiment which revealed that CO₂ flux changed depending on the flood tide and falling tide as well as the groundwater level.

1. はじめに

干潟の海水浄化機能についての研究は、海水中の懸濁体の除去、N・Pの無機化機能、鳥類や水産業などによる系外への除去、脱窒機能など様々な視点からの研究がされている¹⁾。同じく有機物分解についても研究が行われており、干潟土壌の酸素消費速度と炭酸ガス生成速度や、呼吸量、酸素消費量、ガラスアンプル内のCO₂の増加量から有機物分解量を測定している研究例がある²⁾。しかし、それらは堆積物や海水を持ち帰り室内実験で行っているため、干潟の大きな特徴である潮汐の影響を考慮されていない。さらに水位変動に伴う有機物分解速度の変化についてほとんど言及されておらず、分解量も1日~1年と長期間の分解を測定している研究例が多い²⁾。

有機物分解速度と水位変動に着目した研究では、大谷ら(2011)がチャンバー法を用いて、現地調査と室内実験において干出時に堆積物から放出されるCO₂フラックスを測定し、有機物分解速度を求めている³⁾。大谷らは干出時における有機物分解速度と地下水位の変動についての関係を明らかにしており、現地では地下水位が下がるにつれ有機物分解速度が大きくなることを発見し、室内実験で地下水位と有機物分解速度の関係について実証している。しかし、この測定方法では冠水時のCO₂濃度およびCO₂フラックスの測定は不可能であり、干出時のみの干潟における環境の一面しか

測定できず、潮汐と有機物分解の関係を一日を通して把握できていない。また他の研究においても干潟の冠水時のCO₂濃度については、測定方法の困難さや現場環境の複雑さから研究はほとんど行われていないのが現状である。

そこで本研究では、水中のCO₂濃度の測定方法を確立し、チャンバー法を用いて現地干潟にて干出時と冠水時の測定を行い、潮汐による水位変動とCO₂フラックスの関係を明らかにすることを目的とした。

2. 干出時CO₂フラックスの現地測定

2.1 調査地点と調査日

調査は大阪南港野鳥園に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大阪南港野鳥園(図1)で実施した。

本研究では北池を対象として調査を行った。測定地点はD.L.+0.8mに位置し、ヨシ原からは離れているため、ヨシの地下部(根、根茎等)の呼吸の影響は無いと考えられる。

2.2 チャンバー法によるCO₂フラックスの測定方法

堆積物表面から大気にCO₂が放出される速度は、堆積物表面のある面積から単位時間に放出されるCO₂量として表される。これはフラックスの単位を有しているため、本研究ではこれをCO₂フラックスと呼び、放出を正、吸収を負で表すこととした。

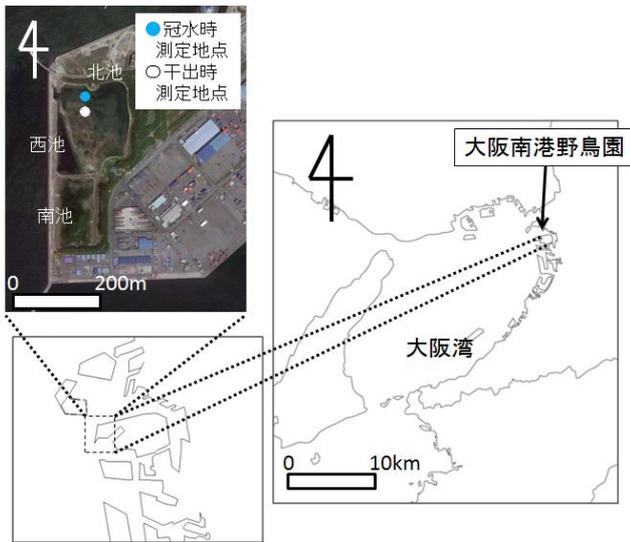


図1 大阪南港野鳥園の位置と測定地点

CO₂ フラックスはチャンバー法を用いて測定する。チャンバー法とはチャンバーと呼ばれる底に蓋の無い密閉容器を土壤に被せ、チャンバー内の CO₂ 濃度を測定することによって、CO₂ 放出量を測定する方法である。チャンバー法を用いた研究は数多く行われており、森林等において土壤表面から大気中に放出される CO₂ の測定など、これまで地球規模の炭素収支の点から様々な研究が行われている⁴⁾。このチャンバー法を用いた測定の特徴の一つとして、測定している CO₂ フラックスは堆積物から放出された全ての CO₂ を測定していることである。この CO₂ の放出源としては、堆積物中の底生動物植物、菌類、細菌類による有機物の分解・無機化であると考えられるので、生物全体の有機物分解量を考察することができる。

有機物の分解・無機化による CO₂ 濃度変化を測定対象としているため、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での測定を行った。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。

装置は、チャンバー(暗、円錐台：底面積 1385cm²、高さ 45cm、容積 40.8L)、CO₂ ガスアナライザー(LI-COR 製、LI-820)、ポンプ、水滴トラップ、乾燥剤で構成される。チャンバーに約 1.0L/min の流量で空気を送り込み、同流量の大気をチャンバーからポンプによって吸い出す。ポンプにより吸い込まれた空気は水滴トラップ、乾燥剤で水分を除去した後、アナライザーに空気が吸い込まれる(図2)。このときに空気ポンプからチャンバーに送られる流量とチャンバーからアナライザーに送り出す流量は等しくしているのでチャンバー内に陽圧または陰圧となることがないことに十分注意した。

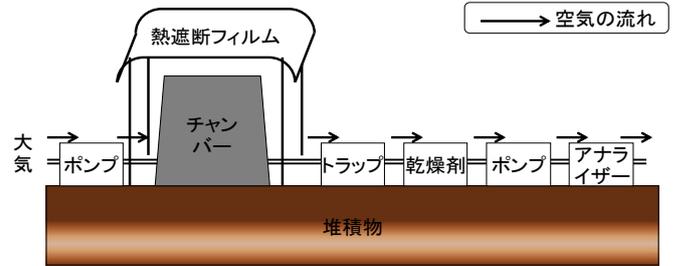


図2 干出時の測定装置

2.3 結果と考察

2.3.1 CO₂ フラックスの日変化

チャンバー内の CO₂ 濃度と大気の CO₂ 濃度を図3に示す。各調査日においても暗チャンバー内の CO₂ 濃度は測定時間が経過するとともに増大していることから、干潟堆積物から暗チャンバーに二酸化炭素の放出が行われていることがわかる。次に図4に各調査日の CO₂ フラックスと地下水位の関係を示す。全ての調査日において地下水位が低下すると CO₂ フラックスが増加する傾向がみられる。地下水の低下による CO₂ フラックスの増加する原因としては、地下水の低下に伴い堆積物に空隙が生じ大気中に存在する酸素と触れあうことにより分解がより活発に行われたと考えられる。

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、好气的状態となり CO₂ フラックスが大きくなると報告している⁵⁾。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・底生動物量と考察している³⁾が測定時間中に温度、有機物量はほとんど変化が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。

2.3.2 CO₂ フラックスの季節変動

前述のように地下水位の変動により CO₂ フラックスは変化するので地下水位が-12~-14cmの時の CO₂ フラックスの平均値をその日のフラックスの値とし、大阪南港野鳥園における CO₂ フラックスと温度および有機物量との関係を検討した。

佐々木(2008)は室内実験の結果、温度の上昇によって CO₂ 放出速度が大きくなる傾向がみられ、周囲の温度と好气的分解に伴う CO₂ 放出速度は、指数関数として近似できることを報告している⁶⁾。本研究では温度が 10°C 上昇した時の生物活性の増加率を意味する Q10 を求めると 1.5 が得られた。清木ら(1998)も同じく干潟堆積物を用いて温度と有機物分解速度の関係を室内実験にて測定しており Q10 は 2.0 と報告している⁷⁾。また大谷ら(2011)も現地干潟で同様の検討を行っており、Q10 は 2.3 という報告をしている³⁾。

次に有機物量と CO₂ フラックスの関係について考察を行った。調査結果から有機炭素量を有機物量の指標

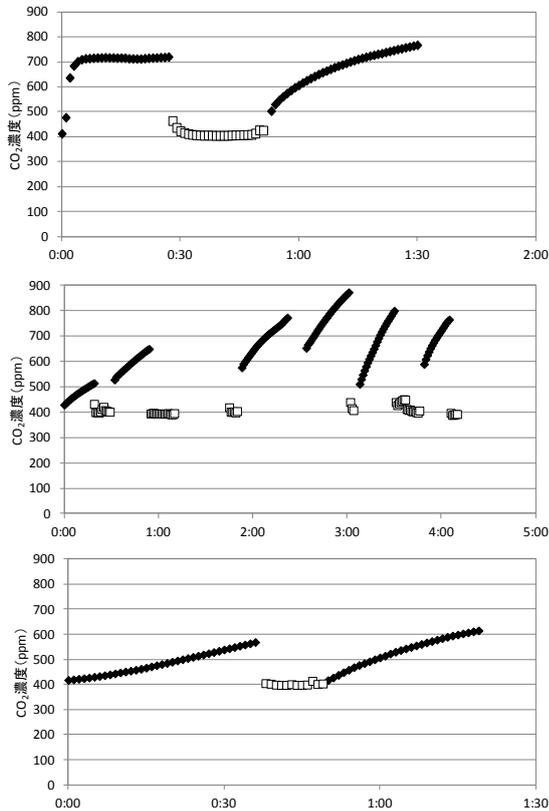


図3 干出時におけるCO₂濃度の変化
 (上図：2012年5月23日，
 中図：2012年7月4日，
 下図：2012年9月26日)

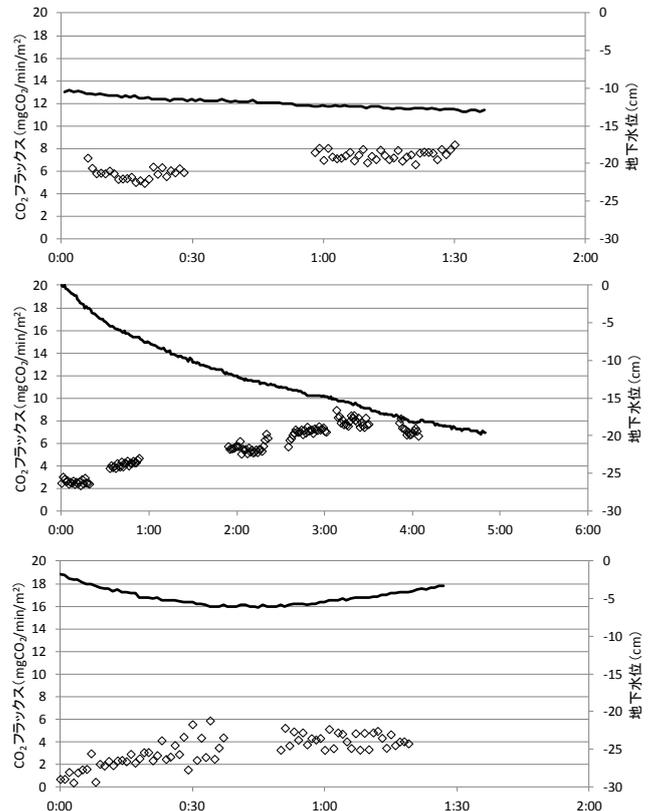


図4 干出時におけるCO₂フラックスと地下水位の変化
 (上図：2012年5月23日，
 中図：2012年7月4日，
 下図：2012年9月26日)

とした。なお有機炭素量とは堆積物表層から5cmの有機炭素量である。Meyer-Reilら(1986)は炭水化物やタンパク質などの有機物の分解活性は土壤の表面が最も大きく、土壤表面から深くなるにつれ分解活性は小さくなり、また土壤表層については有機物量と有機物分解活性は高い相関があると報告している⁸⁾。本研究でも現地調査において、有機炭素量が大きくなるとCO₂フラックスが大きくなる傾向がみられた。これは堆積物表層の有機物分解量をCO₂フラックスとして測定しているため、CO₂フラックスは有機物量に影響されると考えられる。

2.3.3 CO₂フラックスの重回帰分析

大阪南港野鳥園北池での干出時のCO₂フラックスを目的変数、地下水位・温度・有機物量の3つを説明変数として重回帰分析を行った。その結果を表1、式1に示す。CO₂フラックスと水位は負の係数、CO₂フラックスと温度および有機物量は正の係数となった。また、推定係数の絶対値(目的変数の寄与度を表す)から干出時にCO₂フラックスに大きく影響を与えるのは水位、有機物量、温度の順であり、水位がCO₂フラックスを決定するのに大きな要因であることが明らかとなった。

表1 CO₂フラックスの重回帰分析の結果

	係数	標準誤差	推定係数
切片	-18.6	16.0	-1.16
水位	-0.376	0.155	-2.42
温度	0.641	0.631	1.02
有機物量	0.0478	0.0388	1.23

$$F_{CO_2} = -18.6 - 0.376 \times WL + 0.641 \times t + 0.0478 \times TOC \quad (1)$$

F_{CO_2} : CO₂フラックス(mgCO₂/m²/min)

WL : 水位(cm) ※地下水位なので負の値

t : 温度(°C)

TOC : 表層5cmに含まれる全有機炭素量(gC/m²)

3. 冠水時のCO₂フラックスの現地測定

3.1 調査地点と調査日

調査は大阪南港野鳥園に2012年8月29日にD.L.±0m(図1)の地点で測定を実施した。

3.2 海水のCO₂濃度の測定方法

気液平衡部か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る。また二酸化炭素計測器(VAISALA製、GMP343)の直前に機器の故障や測定値の過大評価を防ぐため乾燥剤を設置した。予備実験結果から測定精度もよく(誤

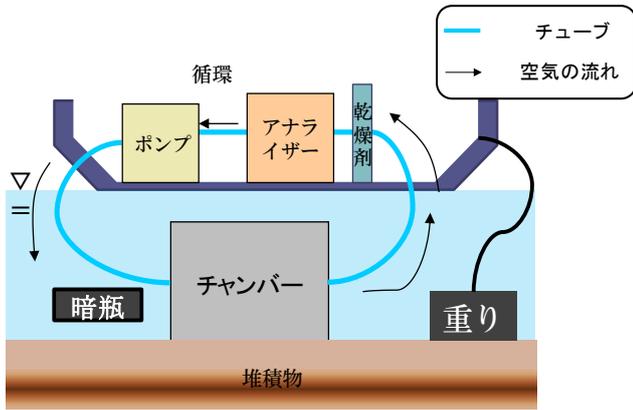


図5 冠水時の測定装置

差 30ppm, 読み値の 6%), 反応速度は 30 分程の遅れで測定できることがわかった. 現地干潟でチャンバー内にこの装置を設置し測定を行う.

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トチューブ(長さ約 15cm, 外径 5mm, 気孔率 60%)をらせん状に巻いたもの, チャンバー外にはポンプ, 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に構成した(図 5). ポンプ, 乾燥剤, 二酸化炭素測定器は浸水や水没のないように浮体式のボートの上に設置した. 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.

また, 予備実験の結果から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ている. 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)を意味している.

3.3 結果と考察

3.3.1 チャンバー内海水の CO₂ 濃度

冠水時のチャンバー内の CO₂ 濃度について図 6 に示す. 2012 年 8 月 29 日に大阪南港野鳥園で行った冠水時のチャンバー内の海水の CO₂ 濃度はチャンバーをかぶせた直後は約 680ppm でありその後, 時間の経過とともに上昇し 40 分後に約 800ppm となった. 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. 次にチャンバー内の CO₂ 増加速度は時刻によってある程度の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(表 2). 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(図 7). 堆積物からの

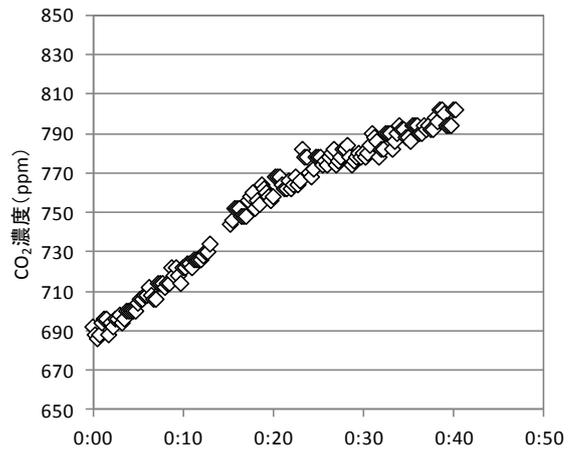


図6 冠水時のチャンバー内 CO₂ 濃度

表 2 海水の CO₂ 増加量と CO₂ 増加速度

	測定前 海水CO ₂ 濃度 (mg/l)	測定後 海水CO ₂ 濃度 (mg/l)	CO ₂ 増加量 (mg/l)	CO ₂ 増加速度 (10 ⁻⁵ mg/l/min)
大阪南港野鳥園 (2012/8/29)	0.90	0.92	0.02	5.26

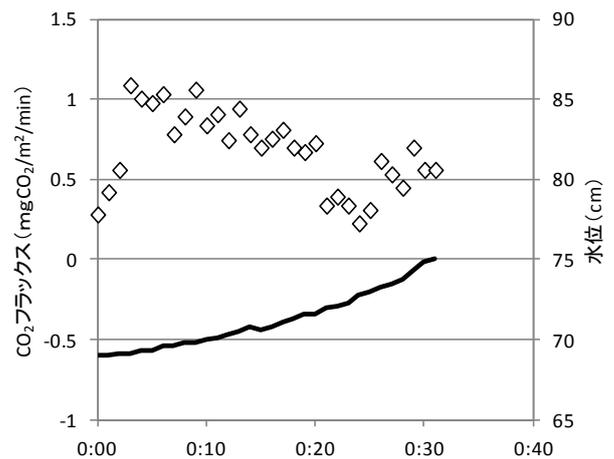


図7 冠水時の CO₂ フラックスと水位

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.

3.3.2 干出・冠水による CO₂ フラックスの変化

2012 年 8 月 29 日の野鳥園における干出地点(D.L.0.8m)及び冠水地点(D.L.±0m)の CO₂ フラックスと水位の変動について図 8 に示す.

大阪南港野鳥園において同日時の干出地点の 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かった. また冠水後は干出時に

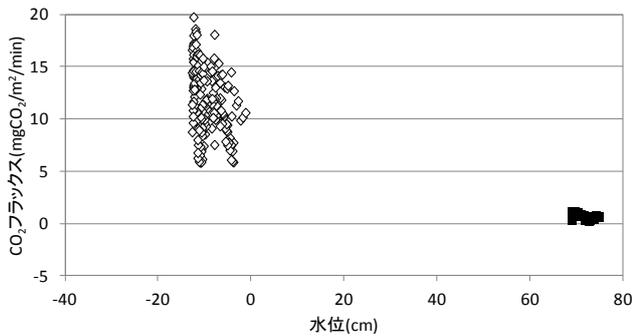


図8 水位とCO₂フラックス

比べ CO₂ フラックスが約 1/5~1/40 と小さい値となっていた。

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極小の分解性能になると報告している⁷⁾。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。

4. 室内実験

現地調査の結果から現地干潟では干出時の CO₂ フラックスは冠水時のそれと比べ 5~40 倍大きいことが示唆された。そこで温度一定、同堆積物という条件の室内実験にて冠水・干出の潮汐変動を模した実験を行い CO₂ フラックスを測定した。

4.1 実験方法

4.1.1 サンプルの採取

2012年12月14日の干潮時に大阪南港野鳥園の現地測定地点付近にて、内径 9cm、高さ 25cm のアクリル製円筒管(暗、円柱型：底面積 63.6cm²、高さ 25cm、容積 1.6L)を用いて、深さ約 10 cm 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。なお、アクリル製円筒管は黒色のビニールテープを巻き光が入らないことを確認した。持ち帰った堆積物は下部から水が通るように底蓋にネットを使用した。

底蓋には多数の細孔(直径約 2.5mm)をあけてネットを敷き、海水のみが出入りできる仕組みとなっている。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。

4.1.2 CO₂ フラックスの測定方法

装置は、アクリル製円筒管(暗、円柱型：底面積 63.6cm²、高さ 25cm、容積 1.6L)内に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、チャンパー外にはポンプ、乾燥剤、二酸化炭素計測器(VIASALA 製、GMP343)が一つの循環系に

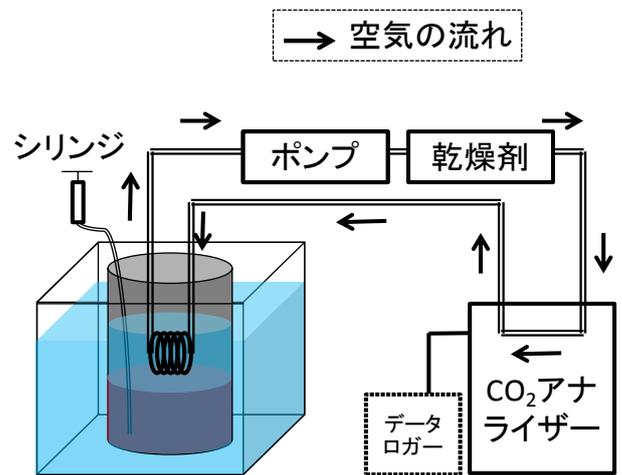


図9 室内実験の測定装置

表3 室内実験の水位変化

	水位(cm)
上げ潮①	-7.5, -5, -2.5, ±0, 5, 7.5, 10, 12.5
下げ潮①	12.5, 10, 7.5, 5, ±0, -2.5, -5, -7.5
上げ潮②	-7.5, -5, -2.5, ±0, 5, 7.5, 10, 12.5
下げ潮②	12.5, 10, 7.5, 5, ±0, -2.5, -5, -7.5

なるように構成される(図9)。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。現地干潟において干出時には地下水の変動は周囲の堆積物から浸透するように変動しているので、本実験では円筒管外部の水位を調整することによって地下水の変動させた。また冠水時には海水は堆積物上の海水が流れ込んでいるものが大部分であるので、堆積物が乱れないように十分に注意し円筒管上部から海水を注ぎ込み水位を調整した。

測定は地下水水位が-7.5cm から始め 2.5cm 刻み(+2.5cm を除く)に測定を行い、上げ潮①、下げ潮①、上げ潮②、下げ潮②の 2 潮汐間を模して実験を行った(表3)。

4.2 実験結果と考察

4.2.1 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 10 に示す。この図から地下水水位が低下すれば CO₂ フラックスが線形的に増加する傾向が見られた。要因としてはやはり堆積物内への酸素の供給であると考えられる。大谷ら(2011)も同様の実験を行っており本研究と同様の結果を得ている³⁾。

また上げ潮時と下げ潮時を比較すると、全ての地下水水位において上げ潮時の方が CO₂ フラックスが大きいという結果が得られた。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 DO 濃度の低い海水が干潟外に流出すると報告している¹⁾。これは上げ潮によって流入した懸濁態窒素を干潟に底

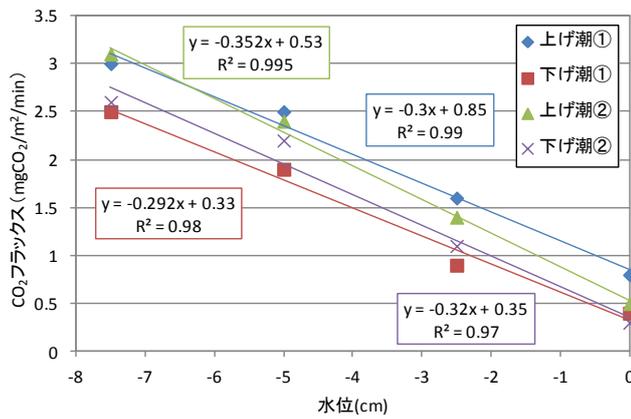


図 10 室内実験における干出時の
CO₂ フラックスと水位の関係

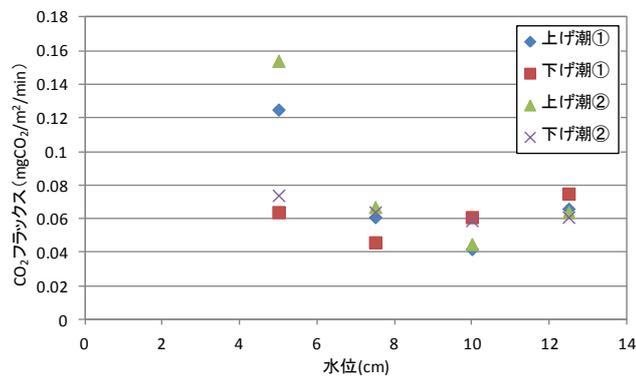


図 11 室内実験における冠水時の
CO₂ フラックスと水位の関係

生生物の摂餌や微生物の分解によって濃度を下げていると考えられている。今回行った実験でも上げ潮時には有機物および DO 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るためと考えられる。

4.2.2 冠水時の CO₂ フラックス

冠水時の水位と CO₂ フラックスの関係を図 11 に示す。上げ潮時の 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 フラックスの変化はあまり見られず 0.02~0.04 mgCO₂/m²/min で推移していた。CO₂ フラックスの値は干出時(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)を比較すると、冠水時の方が 1/8~1/15 と小さい値となっていた。

しかし上げ潮時の水位 5cm においては他の CO₂ フラックスとは異なり測定開始直後は約 0.18 mgCO₂/m²/min と CO₂ フラックスは大きく、時間の経過とともに CO₂ フラックスが小さくなるという結果となった。実験において上げ潮時の 5cm は冠水直後であり、DO 濃度および懸濁態窒素濃度の高い海水が投入された直後である。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、冠水後時間の経過につれ有機物分解量は減少し、ある一定の分解速度に安定すると考えられる。

5. まとめ

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 1/8~1/15 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。

参考文献

- 1) 国分秀樹, 土橋靖史, 高山百合子(2009): 英虞湾の干潟・アマモ場連続帯における直上水の流入流出フラックスの観測, 海岸工学論文集, Vol.65, NO.1, pp.1081-1085.
- 2) 森本研吾, 松尾信(1995): 海浜砂中における水分と有機物分解性の関係, 水環境学会誌, 第 18 巻, No.5, pp.382-388.
- 3) 大谷優里, 藤田哲朗, 矢持進(2011): 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-チャンパー法による CO₂ フラックスの測定, 土木学会論文集 B2, Vol.67, No.2, pp.976-980.
- 4) 木部剛, 鞠子茂(2004): 土壌呼吸の測定と炭素循環, 地球環境, Vol.6, pp.203-212.
- 5) J.F.Magenheimer, T.G.L.Chmura, R.J.Daoust(1996): Methane and Carbon Dioxide Flux From a Macro tidal Salt Marsh, Bay of Fundy, New Brunswick, Estuaries, Vol.19, No.1, pp.139-145.
- 6) 佐々木晶子(2008): 河口干潟における好氣的有機物分解量: 温度・潮汐の影響を考慮した測定, 瀬戸内海, No.52, pp.48-51.
- 7) 清木徹, 平岡喜代典, 李正奎, 西嶋渉, 向井徹雄, 瀧本和人, 岡田光正(1998): 広島湾における干潟の水質浄化能に関する研究-有機物の分解特性について-, 水環境学会誌, 第 21 巻, No.7, pp.421-428.
- 8) Meyer-Reil, L.A.(1986): Measurement of hydrolytic activity and incorporation of dissolved organic substrates by microorganisms in marine sediments, Mar. Ecol. Prog. Ser., 31, pp.143-149.

討議

討議 [貫上佳則 教授]

室内実験の測定方法をもう一度説明してください。
気体を循環させると CO₂ 濃度が上昇するのではないか。

回答

アクリル製円筒管（円柱型：底面積 63.6cm²、高さ 25cm、容積 1.6L）内にポアフロンチューブ（長さ約 15cm、外径 5mm）をらせん状に巻いたもの、チャンパー外にはポンプ、乾燥剤、二酸化炭素計測器（VAISALA 製、GMP343）が一つの循環系になるように構成され、ポンプで循環させた気体の CO₂ 濃度を測定している。現地干潟において干出時は地下水の変動は周囲の堆積物から浸透するように変動しているので、本実験でも円筒管外部の水位を調整することによって地下水を変動させ、冠水時の海水は堆積物上の海水が流れ込んでいるものが大部分であるので、堆積物が乱れないように十分に注意し円筒管上部から海水を注ぎ込んだ。

循環気体の CO₂ 濃度の上昇しすぎを防ぐために 30 分で測定を終了し、一度リセットしてから次の測定をした。

討議 [西岡真稔 准教授]

回帰式は調査全体から計算しているのか、また地下水の時間スケールと温度および有機物量の時間スケールは違うのではないか。

土中の水位変化で現地と実験には変化の差があるがその差は影響ないのか。

回答

回帰式は調査全体で計算している。また地下水は測定ごとの値、温度および有機物量は調査日ごとの値を使用しているので時間スケールは違うが、同じ地下水位のときの CO₂ フラックスと温度、CO₂ フラックスと有機物量の比較を行って考察おり、CO₂ フラックスと温度、CO₂ フラックスと有機物量はともに正の相関を示していた。

既往研究から有機物分解は表層の影響が大きいという報告があるので現地と実験の CO₂ フラックスには大きな差はないと考えている。

討議 [遠藤徹 講師]

干出と冠水のフラックスのオーダーの違いは何だと考えられているか。

結果の精度を向上させるために室内実験以外に何が

考えられるか。

回答

干出時と冠水時の違いは酸素の供給量の差だと考えられる。干出時には大気から多く酸素が供給され、冠水時には酸素の供給源は水中からとなるので、干出時の方がより好氣的分解が活発に行われると考えられる。

有機物の有無、有機物量の違い、温度の違いから CO₂ フラックスを測定すれば測定の精度は向上すると考えている。