

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：82707

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25820259

研究課題名(和文)新規開発した乱流測定システムによる沿岸域のCO₂交換量の再評価研究課題名(英文) Re-evaluation of coastal CO₂ exchange rate using newly developed method of near water surface turbulence

研究代表者

所 立樹 (Tokoro, Tatsuki)

国立研究開発法人港湾空港技術研究所・その他部局等・研究官

研究者番号：70543859

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)：沿岸域は、長期間大気中のCO₂を隔離・固定する場所として近年注目されている。しかしながら、このような水域は環境の変化が激しいため、大気中のCO₂吸収・放出量を十分な精度で測定できていないのが現状である。本研究では、水面の乱流を使って長時間安定してCO₂交換速度を測定できる計測システムの開発を目的とした。

室内実験による検証結果から確定した算出方法により、野外の低波高の条件では本システムが十分な精度でCO₂交換速度を算出可能なことを確認した。また、今後の改良により、より波高が高い条件での測定も可能になると期待される。

研究成果の概要(英文)：Coastal areas have recently been focused as an important carbon stock which is isolated from atmosphere for long period. However, the CO₂ flux in such areas could not be quantified sufficiently due to the temporal and spatial large variation. In this study, we aimed to develop the measurement system of the CO₂ transfer velocity using the aqueous turbulence near the water surface. By the procedure deduced from our water-tank experiment, the system could measure the CO₂ transfer velocity with satisfactory accuracy under low-wave condition in the open field. This study also suggested that the measurement system would be applicable to the high-wave condition with the future improvement.

研究分野：海洋化学

キーワード：CO₂ 沿岸域 大気 水圏間フラックス

1. 研究開始当初の背景

沿岸域には、光合成で成長した海草類などが地中に堆積することで大気中 CO₂ を長期間大気中から隔離する効果が期待されている(Nellemann *et al.*, 2009).しかしながら、植生を持つ沿岸域がどの程度大気中 CO₂ を吸収もしくは排出しているのか定量的な評価はなされていない。これは、植生が存在する浅い沿岸域では時空間的な変動が大きく、それらの影響を十分な精度で定量化できる手法が確立していないためである。

一方、流体力学的な解析から、大気と水の間の CO₂ 交換速度が水面付近の乱流パラメータと関係性を持つことが示されている。申請者は過去の研究で、流体力学モデルの一つ (Small eddy model; Lamont and Scott, 1970) の CO₂ 交換速度の予測値と直接的な測定方法 (フローティングチャンバー法、以下 FC 法) が整合的であることを確認した (Tokoro *et al.*, 2008). 直接的な測定方法は時空間的な情報が限定的であるのに対し、表面更新モデルに必要な乱流パラメータ (エネルギー散逸率) は自動計測が可能である。したがって、水面付近の乱流パラメータを正確に測定可能なシステムを開発することで、沿岸域における大気中 CO₂ の吸収・放出量の包括的な評価が進展されると期待される。

2. 研究の目的

本研究では、表面更新モデルに必要な水面付近の乱流パラメータを測定可能なシステム (表面乱流測定システム) の開発と検証を目的とする。研究期間内には下記の3項目を小目標として設定する。1) 表面乱流測定システムの設計・開発 2) CO₂ 交換速度算出方法の確立 3) 測定結果の妥当性の検証と今後の改良点の同定

3. 研究の方法

(1) 表面乱流測定システムの設計は㈱ゼニライトブイと共同で行った。設計においては、波やうねりに対して安定して水面に追従し、かつブイ自体による乱流の計測を避けるために流速計が常に上流方向を向くことを想定した。このため、システムは三胴構造のフロートに必要な機器を搭載する設計とした。乱流パラメータの計測には、港空研所有の Nortek 社製の3次元超音波式流速計を使用した。

(2) 基本的な算出方法に関しては既存の研究 (Lamont and Scott, 1970) で確立されているため、本研究では波の動揺を受けるブイに搭載した流速計のデータを使用するための手法とその妥当性の検証を行った。

室内実験では、港空研の流動実験水槽を使用した。水槽実験では、一様流 (流速: 5 cm/s, 10cm/s, 15 cm/s) と振動流 (流速: 10 cm/s, 15 cm/s, 周期 3 秒) の条件下において、フロートに設置した流速計と水槽の枠に固定した同じタイプの流速計の測定結果を比較し

て、解析を行った。

(3) 測定結果の妥当性の検証のため、野外実験において2種類の既存の方法 (パルク式と呼ばれる風速依存の経験式、以下 BF 法・FC 法) と並行して測定し、それらの測定結果を比較した。野外実験では、沖縄県石垣島の白保サンゴ礁内外において、半日程度の連続観測を行った。なお、サンゴ礁では短時間で流況が大きく変化するため、広い範囲の乱流条件を再現することができる。

4. 研究成果

(1) 設計した表面乱流測定システムは、港空研のメソコスム実験水槽で重心の調整を行った。前述した流動実験水槽と野外実験で常に水面に追従し、流速計が上流方向を向いていたことを確認した (図 1)。



図 1 野外調査で係留中の本システム

(2) 流動水槽実験では、一様流の条件下の流れの条件 (鉛直方向のパワースペクトル) は、フロートに搭載したものと固定したものとで有意な差が確認されなかった。一方、振動流の条件下では、高周波数帯 (>~1 Hz) でフロート側のスペクトルの増加が確認された (図 2)。また、この周波数帯で、フロート側のパワースペクトルが理論的に推測される形状 (両対数プロット上で-5/3の傾き) から剥離していることが確認された。これは、振動流を形成する際の波 (周期 3 秒) と水槽壁面からの反射波によるフロートの動揺の影響と考えられる。このことから、低周波数帯のスペクトル形状を使うことで、波がある条件下でも乱流パラメータの推測ができることが示唆された。

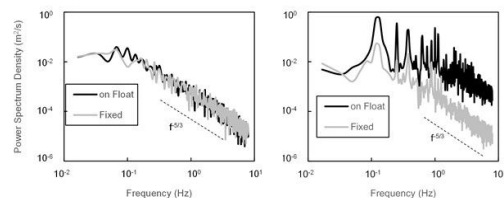


図 2 パワースペクトルの比較
室内実験の結果 左：一様流．右：振動流

(3) 上記(2)で考案した計算方法は波高の低いサンゴ礁内では有効であり、1 Hz 以下の領域 (0.08~0.4 Hz) を使用することで CO₂ 交換速度を算出することができた (図 3, 4)。並行した既存の測定方法のうち、風

速を使った経験式から求める方法（BF 法）よりは有意に高い値となった（図 4）。一方、直接測定法であるフローティングチャンバー法（FC 法）との測定結果とは整合的であった。なお、海況の問題から測定期間前半は FC 法の測定データは得られなかった。

BF 法に使用される経験式は外洋などの十分に広い水域で確立されたものであるため、沿岸域への適用には限界がある。一方の FC 法は直接的な測定法であり、より真の値に近いものであると考えられる。よって、本研究のシステムの測定精度は低波高条件下では妥当であると結論できる。今回の解析により、サンゴ礁のような潮汐の影響が強い水域では、CO₂ のガス交換速度が促進されていることも示された。

しかしながら、サンゴ礁外の比較的波高の高い水域では、パワースペクトルがほぼ全周波数帯で乖離していたため（図 3）、(2) の計算方法の適用は疑問が残るものとなった。サンゴ礁外は外洋に近い環境であるため、本システムの測定結果は BF 法と整合的であることが期待されるが、両者は大きく異なる傾向であった（図 4）。これは、野外における高波高時の条件が室内実験では再現できていなかったことを示している。

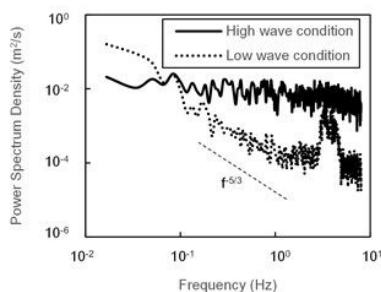


図 3 パワースペクトルの比較
サンゴ礁内（実線）とサンゴ礁外（点線）

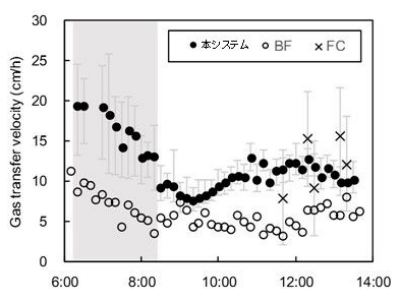


図 4 CO₂ 交換速度の比較
陰の部分はサンゴ礁外のデータ

上記のサンゴ礁外での測定結果は、今後野外調査を基にして新しい方法で補正方法を確立する必要性を示している。その予察的な研究として、ジャイロセンサーによる波の動揺の定量化方法の検討を行った。ジャイロセンサー（MEMSIC 社製 IMU440）は 3 次元の加速度と 3 軸の角速度を測定することができる。現状の上記ジャイロセンサーは野外調査用に対応していないため、ここでは港空

研のメソコスム実験水槽で周期 2 秒程度の弱い振動流を造波した環境で実験を行った。

測定されたパワースペクトルには、0.5 Hz の周波数帯にピークが確認され、3 次元の加速度でも同じ周波数帯にピークが確認された。このことから、ブイの動揺によるものと思われるパワースペクトルのスパイクは、ジャイロセンサーのデータから同定できる見通しが得られた。今後のジャイロセンサーを使った補正方法を確立することで、本システムをより高波高の条件下でも適用できることが期待される。

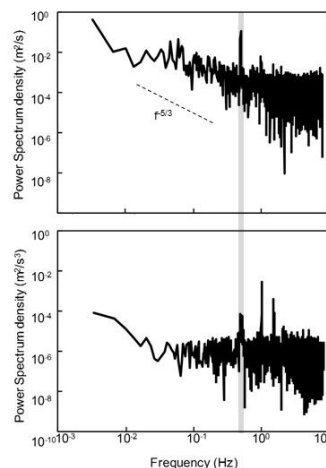


図 4 鉛直流速（上）とブイの鉛直加速度（下）のパワースペクトル比較
灰の線は 0.5 Hz の周波数帯を示す。

<引用文献>

Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdes, L., DeYoung, C., Fonseca, L., and Grimsditch, G. (eds.): Blue carbon. A rapid response assessment., United Nations Environmental Programme, GRID-Arendal, Norway, 2009, pp. 80.

Tokoro, T., Kayanne, H., Watanabe, A., Nadaoka, K., Tamura, H., Nozaki, K., Kato, K., and Negishi, A.: High gas-transfer velocity in coastal regions with high energy-dissipation rates, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 113, 2008, doi:10.1029/2007JC004528.

Lamont, J.C. and Scott, D.S. An eddy cell model of mass transfer into the surface of a turbulent liquid, *AIChE Journal*, Vol. 16, 1970, pp. 513-519.

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 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

所 立樹, フロートを使用した水面のガス交

換係数の測定手法，2015 年度秋季海洋理工
学会，2015 年 10 月 30 日，京都大学楽友会
館．

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

所 立樹 (TOKORO, Tatsuki)
港湾空港技術研究所・沿岸環境研究グルー
プ・研究官
研究者番号：70543859

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：