

水あるいは底泥境界面から大気環境中へのガスフラックスの測定

九州大学工学部 学生会員 原田智彦 正会員 山西博幸
フェロー 楠田哲也 正会員 大石京子

1.はじめに ガス交換はいたるところで生じており、環境中での物質循環や大気環境への影響を考える上で重要である。一方で現地観測に基づく値は、現地観測の条件設定の困難さやその他の不確定要素の含有のため、一般にばらつきが大きい。本研究では、現地水界面から大気環境中へのガスフラックスを求めるために、①開空間の状態ではガス濃度を測定し、検査区間内の物質収支式をもとに水界面からのガスフラックスを算定する方法と②チャンバーで水表面を覆い、閉じた空間内の濃度変化を直接測定する方法を採用した。これらの結果から、水-大気もしくは底質-大気間でのガス輸送係数と流体力学的要素との関係を求める。

2. ガスフラックスの算出方法 水-大気界面からの単位面積当たりの平均ガスフラックス F は、定常状態と仮定した場合、大気中の対象ガスに関する物質収支式をもとに次式にて算出する (山西ら、1997)。

$$F = \frac{1}{L} \left[\int_0^{H_2} C_2 u_2 dz - \int_0^{H_1} C_1 u_1 dz - \int_0^L \left\{ C(x, H(x)) u(x, H(x)) \frac{\partial H(x)}{\partial x} + \left[K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right]_{z=H(x)} \right\} dx \right] \quad (1)$$

ここに u は平均風速、 K_z は拡散係数、 $H(x)$ は任意の場所の x における測定上端高、 L は測定距離、 C_a はガス濃度、添字 1、2 は検査区間の流入側と流出側である。なお、チャンバーで求めたガスフラックス F は次式のようにチャンバー内ヘッドスペースの濃度変化 ΔC を測定時間間隔 Δt で除して求める。

$$F = \frac{V}{A} \frac{\Delta C}{\Delta t} \quad (2)$$

ここに A : チャンバーが水と接する面積、 V : 体積である。

3. 実験装置および方法 本研究で用いるチャンバーは、一般的な箱形チャンバー ($V/A=0.14\text{m}$, $S=0.143\text{m}^2$) と、図-1のようなサーキット型チャンバーである。サーキット型チャンバーの体積は $32L$ 、水と接する面積 S は 0.06m^2 であり、チャンバー底面と水面とが一致するようにチャンバー本体底面には発泡スチロールによる浮きを取り付けバランスをとっている。また、チャンバーには可変速ファンを取り付けている。水面を有する区間から放出されたガスは鉛直方向に分布を有するが、攪拌によってガス濃度は一様になるので、水面区間流入口付近で所定時間毎に採取した。なお、ガスサンプリングに伴うチャンバー内の圧力低下防止のために内圧調整口を設け、これにアルミニウムバックを接続し対処した。サンプル口から吸引ポンプで採取したガスはテドラーパック内に封入され、これをECDガスクロマトグラフにて分析した。さらに、チャンバー内で水面を有する区間での風速測定には、風温変化や湿度の影響を受けにくい小型ベーンを有する風速センサーを用いた。これを水面区間中央部に設置し、水面から 6cm のところで風速を測定した。

現地での調査地点は、山西ら (1997) 同様、福岡市東区のと々良川と宇美川の合流点である。調査場所のすぐ近くから放流される処理水には多くの N_2O が含まれている (李ら、1997)。 N_2O は地球温暖化ガスの1つであること、また水域内の窒素循環を明らかにすることなどから、これを対象ガスとした。

4. 実験結果および考察 図-2は平成9年8月29、30日に行った現地調査の中で、箱形チャンバーによって求めた単位面積当たりのフラックス F の経時変化である。なお、図中にはその時の水深と水中 N_2O 濃度も示している。図より比較的フラックスが大きくなるときが見られる。これは水位変動に伴って河道内を移動する N_2O の高濃度水塊の影響 (李ら、1997) が1つの原因ではないかと考えられる。

図-3はサーキット型チャンバー内のガス濃度の時間変化をもとに式 (2) から算出したフラックス F と風による摩擦速度 u^* との関係を示したものである。なお、このときの摩擦速度はチャンバー内水面区間での風速分

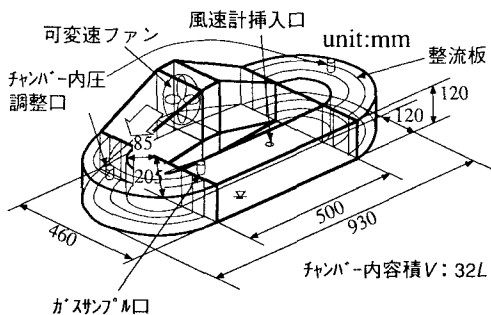


図-1 サーキット型チャンバーの概略図

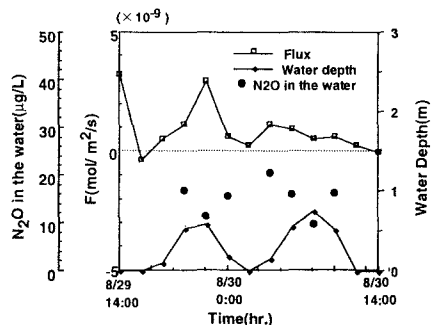


図-2 箱型チャンバーによるガスフラックスの日変化

布が対数分布則に従うものとして求め、 $z=6\text{cm}$ での風速 $u_{z=6\text{cm}}$ との関係から導いた (図-4 参照)。このとき、

$$u^* = 2.55 \times 10^{-2} u_{z=6\text{cm}}^{1.43} \quad (3)$$

であった。図-3よりチャンバーによる測定実施毎に、その水中 N_2O 濃度が異なっているために一概には言えないが、 u^* が大きいと F も大きくなる傾向が読みとれる。

図-5は摩擦速度 u^* とガス輸送係数 k との関係を示したものである。ガス輸送係数 k は次式を用いて算出する。

$$k = \frac{F}{C_w - C_a^*} \quad (4)$$

ここに、 F は実験から求められるフラックス、 C_w は水中ガス濃度、 C_a^* は大気中の対象ガスの分圧中 P_a と平衡を保つ水中でのガス濃度に換算したものである。このとき、気体の溶解度はWeiss and Price(1980)に従い、温度と塩分の関数として求めた。図より開空間の状態で式(1)から算出したガス輸送係数 k にばらつきが見られるが、サーキット型チャンバーを用いて式(2)から算出した k との相関は比較的良好であった。

5. おわりに 今回、ガスフラックスを現地に直接測定するための手法として、開空間の状態で測定する方法とチャンバーによる測定方法について検討した。特に、チャンバーによる測定では、新たにサーキット型のものを作製し、任意の風速に対してガスフラックスが求められるようにした。これより、開空間で求めたガスフラックスやガス輸送係数の検証を行うことができる。とともに、大規模な観測機器を用いずにこれらを測定することが可能となった。本研究を遂行するにあたり、科研費補助金基盤研究(B)(2)(代表: 楠田哲也)より援助を受けた。また、サーキット型チャンバー作製にあたり、吉松正勝氏、小型ベーン風速計の借用にあたり、本学工学部建設都市工学科沿岸海洋工学研究室の協力を得た。ここに記して謝意を表します。さらに、現地観測に直接ご協力いただいた本大学院生の東修君に深く感謝いたします。

参考文献 山西ら(1997): 第34回環境工学研究フォーラム講演集, pp.100-102. 李ら(1997): 第52回年次学術講演会講演概要集, 第7部門, pp.170-171.

Weiss, R.F and B.A.Price(1980): Marine Chem, 8, pp.347-359.

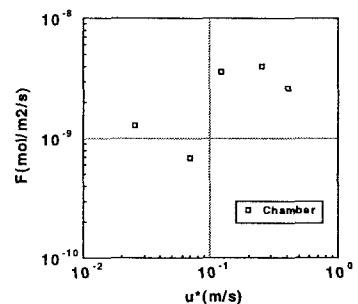


図-3 摩擦速度とフラックスとの関係

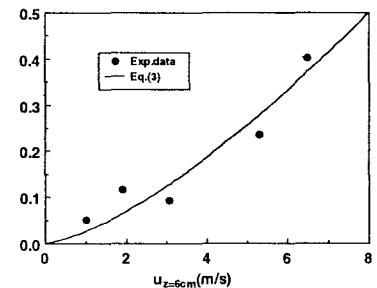


図-4 $u_{z=6\text{cm}}$ と摩擦速度 u^* と関係

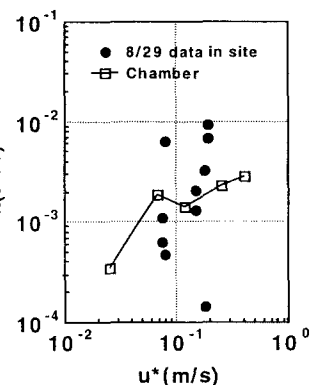


図-5 摩擦速度とガス輸送係数との関係