

八郎湖および流入河川の水面における亜酸化窒素のガス化速度に関する検討

秋田工業高等専門学校 学生会員 ○加賀屋翔太 正会員 増田周平

1 はじめに

亜酸化窒素(N_2O)は強い温室効果を持つガスで、 CO_2 のおよそ 300 倍もの温室効果があるとされている。さらに N_2O はオゾン層の破壊にも寄与している。公共用水域において、 N_2O は農業用水・生活排水等に含まれる窒素の硝化・脱窒反応により、まず溶存態亜酸化窒素(DN_2O)として生成する。その後、 DN_2O はガス化して大気中へ揮散し、大気中に存在することで温室効果をもたらす。また、オゾン層へ到達することで化学反応によりオゾンを分解する。

一方、河川・湖沼においてガス態亜酸化窒素(GN_2O)の発生速度を実測する方法として、チャンバー法による実測と、 DN_2O 濃度から理論的に発生速度を計算する方法の二種類がある。前者は、水面にチャンバーを浮かべ、発生するガスを直接分析する。それにたいして後者は、水中の DN_2O 濃度、水温、風速などに基づき、 GN_2O 発生速度を計算する。しかし、両者の違いについて検討した例は乏しい。

そこで、本研究では八郎湖流域で DN_2O 調査・測定を行い、理論式に基づいて GN_2O 発生速度を算出するとともに、理論式の値とチャンバー法で求めた値を比較し、その結果について考察した。

2 研究方法

2-1 現地調査方法

DN_2O の調査地点は、八郎湖の主要流入河川である5河川(馬踏川、豊川、井川、馬場目川、三種川)と、北部排水機場、南部排水機場、八郎湖河口の計8箇所を対象とした。調査は2011年の9月8日・10月14日、2012年の4月16日・5月17日・6月7日・7月11日・8月19日・9月5日・10月14日の計9回行った。ただし、2012年8月19日の調査では水温計が故障したため、8月のデータは除外した。 GN_2O の調査は、豊川において2010年5月21日・8月24日に行った。すべての調査は晴天日に実施した。また、水温を現地で直接測定した。

チャンバー法を用いた GN_2O 濃度は、クローズドチャンバー法により単位面積当たりの発生速度で評価した。チャンバーは、塩ビ製で直径30cm、高さ15cmの円筒状であり、周囲には発泡スチロールの浮きを取り付けてある。測定の際には、チャンバーを水面に浮かべ、開始直後と10分後のチャンバー内空気を採取した。 GN_2O 発生速度は、 GN_2O の濃度変化、チャンバー内の空気相体積、底面積および気温を考慮して算出した。 DN_2O 濃度の測定には、ヘッドスペース法を用いた。70mLバイアル瓶に試料水を満杯まで採取し、ヒビテンを2mL加えヘッドスペース法にて測定した。気液平衡の条件は $20^\circ\text{C} \cdot 1$ 時間とした。 N_2O 濃度はECDガスクロマトグラフ(島津製作所)により分析した。

2-2 解析方法

DN_2O のガス化速度は以下で与えられる¹⁾。

$$F = D \times (C_w - C_a) / Z \quad (1)$$

ここで、 F はガス化速度 $[\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}]$ 、 D は拡散係数 $[\text{cm}^2/\text{sec}]$ 、 C_w は水中の DN_2O 濃度 $[\text{mg}/\text{L}]$ 、 C_a は気相の DN_2O 濃度 $[\text{mg}/\text{L}]$ 、 Z は薄膜の層の厚さ $[\text{m}]$ である。ここで薄膜の層とは、水と大気の境界にあり、両者の間でガス交換が行われる非常に薄い層である。また、 D は既往の知見²⁾に基づき、以下の近似式より求めた。

$$D = (5 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 - 8 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 + 0.0005 \cdot T^2 + 0.0352 \cdot T + 1.16) \quad (2)$$

ここで、 T は水温 $[\text{C}]$ である。さらに、 Z は風速の影響を考慮し、次式で求められる。

$$Z = D/k \quad (3)$$

ここで、 k は既往の知見におけるガス転換速度係数 $[\text{cm}/\text{h}]$ であり、風速との関係から次式で求められる³⁾。

$$U_{10} < 9.5 \text{ のとき, } k = 1.11 \times U_{10} + 0.35$$

$$U_{10} > 9.5 \text{ のとき, } k = 2.53 \times U_{10} - 13.09 \quad (4)$$

ここで、 U_{10} は高度 10m における風速を表す。

解析に使用するデータは、調査地点からもっとも近いアメダスの値を用いた⁴⁾。解析には、調査時刻のアメダスの気温、及び平均風速を使用した。すなわち三種川は大潟観測地点、南部排水機場・八郎湖河口は男鹿観

キーワード：亜酸化窒素、 GN_2O 発生速度、チャンバー法、拡散係数、八郎湖、河川

連絡先：〒011-8511 秋田市飯島文京町 1-1 秋田工業高等専門学校 増田周平 E-mail: masuda@akita-nct.jp

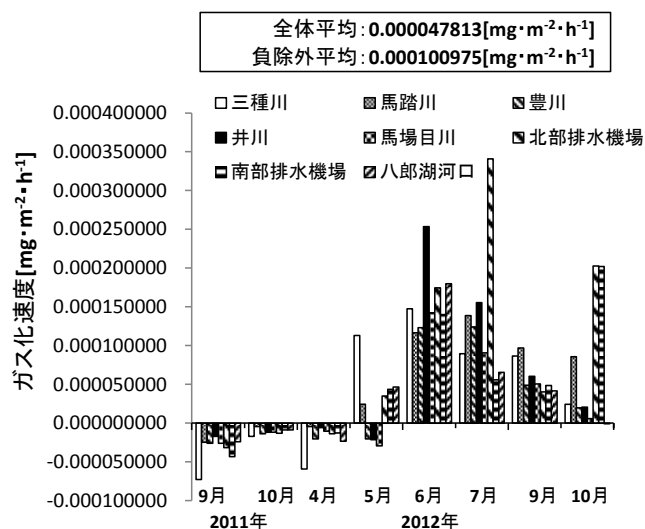


図 1. 各調査地点における GN₂O 発生量理論値

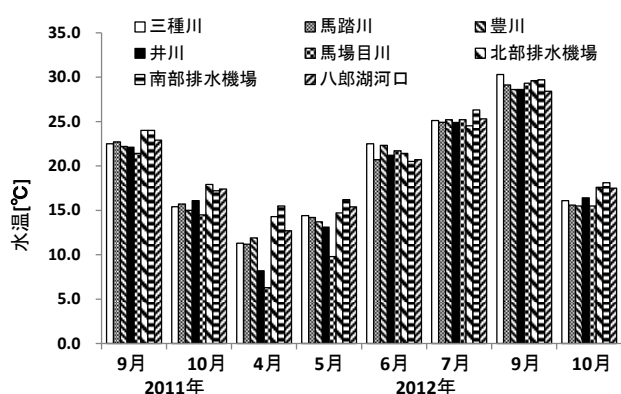


図 2. 各調査地点における水温

表 1. 豊川における理論値と実測値との比較

日付	理論式に基づいて求めたガス化速度 [mg·m ⁻² ·h ⁻¹]	チャンバー法実測値 [mg·m ⁻² ·h ⁻¹]	理論値と実測値の差 [mg·m ⁻² ·h ⁻¹]	理論値/実測値
2010/5/21	0.000170867	0.000018154	0.000152713	9.4
2010/8/24	0.000497253	0.000019943	0.000477310	24.9

測地点、馬踏川・豊川・井川・馬場目川・北部排水機場は五城目観測地点からデータを得た。平均風速は対数近似式に基づいて、 U_{10} に換算した。

3 結果および考察

3-1 理論式に基づく GN₂O の試算

以上に立てた理論式による結果を図 1 に示す。これより、2011 年の 9 月から 2012 年の 5 月は負の値となり、それ以降は正の値となった。理論式に基づいて算出した GN₂O 発生速度の平均値は $0.0000478[\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}]$ となった。また、負の値を除外した平均値は、 $0.0001009[\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}]$ となった。以上より、N₂O のガス化、溶解の傾向は季節によって異なっており、比較的温度が高い時期にガス化速度が高かった。但し、比

較的温度が低い時期において、ガス化速度が負の値になったことについては、今後引き続き検討が必要である。

3-2 チャンバー法との比較

表 1 に理論式の値とチャンバー法の値との比較を示す。その結果、理論値はチャンバー法の値よりも 9.4～24.9 倍高い数値となった。この原因は、主に風速と考えられる。チャンバー法では、測定時に水面がチャンバーにより閉塞されている。よって風の影響を受けにくく、閉塞しない場所よりもガス化速度が落ちていたため、理論値が数倍大きい値になったと考えられる。

4 まとめ

理論式に基づいて算出した GN₂O 発生速度の平均値は $0.0000478[\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}]$ となった。また、負の値を除外した平均値は、 $0.0001009[\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}]$ となった。また、GN₂O 発生速度を求めるにあたり、理論式を用いる場合と、チャンバー法で実測する場合では、見かけ上理論式の値が大きくなった。その原因は、チャンバー法の実測においては水面を閉塞させてしまい、風の影響を遮断するためであると考えられた。

5 参考文献

- 1) A.D.Robinson et al, Hypernutrified estuaries as sources of N₂O emission to the atmosphere: the estuary of the River Colne, Essex, UK, Marine ecology progress series, vol.164, pp59-71, 1998
- 2) W.S.Broecker and T.H.Peng Gas exchange rates between air and sea, Tellus XXVI, 1-2, pp21-35, 1974
- 3) R.C.Upstill-Goddard, Gas transfer velocities in lakes measured with SF₆, Tellus, 42B, pp364-377, 1990
- 4) L.F.Dong et al, Nitrous oxide emission from some English and welsh rivers and estuaries: Water, Air, and Soil pollution: Focus 4, pp127-134, 2004