

濃度および同位体比の分布から推定される海洋における溶存一酸化二窒素の起源 Origin of nitrous oxide dissolved in the ocean deduced from concentration and isotope ratios

豊田 栄^{1*}, 藤井 彩子¹, 吉田 尚弘¹, 山岸 洋明², 吉田 磨³, 渡邊 修一⁴

Sakae Toyoda^{1*}, FUJII, Ayako¹, YOSHIDA, Naohiro¹, YAMAGISHI, Hiroaki², YOSHIDA, Osamu³, WATANABE, Shuichi⁴

¹ 東工大総理工, ² 環境省環境保健部, ³ 酪農学園大学農食環境, ⁴ JAMSTEC むつ研

¹ Interdisciplinary graduate school of science and engineering, Tokyo Institute of Technology, ² Environmental Health Department, Ministry of the Environment, ³ College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University, ⁴ Mutsu Institute for Oceanography, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

一酸化二窒素 (N_2O) は地球温暖化および成層圏オゾンの減少に関する微量気体であり、主な発生源として土壌や水中の微生物による硝化と脱窒がよく知られている。海洋から大気への N_2O 放出は全球 N_2O 発生源の約 20% を占めると推定されている。表層の溶存 N_2O の濃度分布から、主な放出は東部熱帯太平洋などの富栄養・貧酸素水塊の周辺で脱窒により起きていると考えられている。しかし多くの海域において溶存 N_2O は中層域 (600-1000 m) で濃度極大を示し、その起源は必ずしも明らかではない。また、深層においても N_2O は過飽和で溶存しており、その濃度には海域による違いが見られる。本研究では、 N_2O の同位体比 (酸素同位体比 $\delta^{18}O$ 、アイソトポマー $^{14}N^{15}N^{16}O$ と $^{15}N^{14}N^{16}O$ の存在度の差を表す Site Preference (SP)、および平均窒素同位体比 $\delta^{15}N$) が微生物の代謝に関する情報を提供する有用なパラメータであることに着目し、濃度分布に加えて同位体比の分布のデータを利用して中層および深層における N_2O の生成起源について解析した。

これまでに報告された西部北太平洋、亜熱帯北太平洋、東部熱帯北太平洋、東部亜熱帯北太平洋、東部亜熱帯南太平洋の観測データに、新たに南大洋 (KH01-3)、赤道太平洋 (MR02-K06)、北太平洋 (MR07-04, WOCE P01) で得られた結果を追加して比較・解析に供した。いずれの海域においても溶存 N_2O 濃度は密度 ($\sigma\text{-}\theta$) 26.5-27.5 (南大洋および赤道太平洋では深度 100-300 m、他の海域では 700-1500m に相当) の領域で極大となり、南大洋と南太平洋では大気平衡濃度の約 2 倍、他の海域では 4-7 倍を示した。 N_2O 極大における同位体比にも海域による違いが見られたが、濃度との間に有意な関係は認められなかった。このことは、太平洋でみられる N_2O 濃度極大の起源は同一ではなく、水平方向の移流や拡散よりも各海域での生成の寄与が大きいことを示唆する。大気平衡濃度からの増分が水塊中の N_2O 生成によるものと仮定すると、生成した N_2O の同位体比は $\delta^{15}N = 7-11$ permil、 $\delta^{18}O = 50-65$ permil、 $SP = 18-35$ permil と見積もられた。SP は北の海域ほど高い傾向が見られた。一方、各海域の 2000m 以深の深層水中平均 N_2O 濃度および同位体比と、 ^{14}C 濃度から推定される年令との間には有意な相関関係が認められ、深層水の循環に伴って N_2O が生成していることが示唆された。生成する N_2O の同位体比は $\delta^{15}N = 10$ permil、 $\delta^{18}O = 62$ permil、 $SP = 29$ permil と見積もられた。

N_2O 濃度極大および深層水について推定された $\delta^{15}N$ および SP の値は、最近アンモニア酸化古細菌の培養実験により報告された、硝化 (ヒドロキシルアミン酸化) で生成する N_2O の値とほぼ一致する。しかし $\delta^{18}O$ は古細菌の硝化で生成する N_2O よりも約 20 permil 高く、 N_2O 濃度極大では SP 値が低い海域も存在する。したがって、細菌による硝化や脱窒 (硝化菌または脱窒菌による亜硝酸還元) の寄与も少なからずあると考えられる。アンモニア酸化古細菌による N_2O 生成における同位体分別について、種や環境条件による依存性についての研究がさらに必要である。

キーワード: 一酸化二窒素, 海洋, 安定同位体比, 硝化, 脱窒, アンモニア酸化古細菌

Keywords: Nitrous oxide, ocean, stable isotope ratio, nitrification, denitrification, ammonia-oxidizing archaea