東京湾の渚における底質表面の亜酸化窒素フラックスの測定

清水良憲¹⁾・高橋輝昌²⁾・小林達明²⁾・浅野義人¹⁾・犬伏和之²⁾

1) 千葉大学自然科学研究科 Graduate School of Science and Technology, Chiba University

2) 千葉大学園芸学部 Faculty of Horticulture, Chiba University

摘要: 渚の保全と再生に際し、底質における亜酸化窒素(N_2O)の大气への放出ないし吸収の量を考慮することは重要である。東京湾の複数の渚において、底質表面の N_2O フラックスと環境諸因子を測定した。その結果、調査サイトによって、放出傾向もしくは吸収傾向の N_2O フラックスが観測された。この N_2O フラックスの正負に影響する環境因子を検討するため、諸因子について重回帰分析をおこなったところ、海水のpH、底質粒径、抽水植物密度、底質温度が影響していることが示された。また、同一海水の影響下では、 N_2O フラックスはより嫌気的な状態の底質で吸収に傾く傾向を示した。

キーワード: 脱窒、亜酸化窒素、渚、底質、チャンバー法、東京湾

SHIMIZU, Yoshinori, TAKAHASHI, Terumasa, KOBAYASHI, Tatsuaki, ASANO, Yoshito and INUBUSHI, Kazuyuki: The measurement of N_2O flux on the surface of the sediment at seashores in Tokyo Bay

Abstract: For the conservation and restoration of the seashore, it is important to determine the amount of N_2O released into the atmosphere and absorbed in the sediment. We carried out the measurement of N_2O flux on sediment surface and environmental parameters at seashores in Tokyo Bay. We observed both flux of the release and the absorption of N_2O . We applied the multiple regression analysis on the parameters, and then suggested that N_2O flux was influenced by pH of seawater, particle size, water plants and temperature. N_2O flux was apt to be absorbed on more anaerobic sediment on the same water quality.

Key words: denitrification, N_2O , seashore, sediment, the method of Chamber, Tokyo bay

1. はじめに

1.1 背景と目的

渚の窒素挙動は、海水の富栄養化や大気中の窒素化合物濃度に影響を及ぼす。そのため、渚の保全や再生に際して、底質の窒素挙動を渚の諸性質と関連づけて留意することは重要である。近年、水質の富栄養化を引き起こす主因となる無機態窒素を系外に除去する作用として底質の脱窒作用(図-1)が注目され、各種の測定方法により脱窒能の評価が試みられている^{3,4,9,12,14,15)}。これらの試みにより、底質の潜在的な脱窒能の推定に関するデータは蓄積されてきており、基質濃度や温度等の影響因子との関係についても明らかにされつつある^{4,15)}。しかし、渚の現場における脱窒の正確な測定はいまだに困難であり、系外へ除去される窒素の挙動を把握した例は少ない。また、脱窒作用の過程で生成される亜酸化窒素(N_2O)は温室効果とともに、オゾン層を破壊する作用をもつことから、大気環境に負荷を与えることが知られている⁶⁾。しかし、この N_2O の収支に着目した渚での報告例はほとんど

みられない。

そこで本研究では、渚の底質における脱窒作用を現場で評価することを目的とし、チャンバー法¹⁾による底質表面の N_2O フラックスの測定をおこなった。また、 N_2O フラックスと渚の底質や生物相、水質等の諸因子との関係について考察し、望ましい渚の性質を検討することを試みた。

図-1 脱窒作用に関わる反応の経路

点線の矢印は系外との出入りを示す

Fig. 1 Reaction routes of denitrification

図-2 東京湾における調査地の位置図

Fig. 2 Map showing study points in Tokyo Bay

1.2 脱窒作用

本報では、主に底質中の微生物の代謝により無機態窒素が N_2 , N_2O ないし一酸化窒素(NO)などの分子態の窒素に変えられる作用を広義の脱窒とし、これを構成する反応のうち酸化反応を硝化過程とし、還元的反応を脱窒過程(狭義の脱窒)としてとらえた。反応経路の概略を図-1に示す。

2. 調査地の概要

東京湾は慢性的な富栄養状態にあり、海水中の無機態窒素が海洋水の栄養塩汚染の主因となっている¹⁾。そこで、東京湾のほぼ全域から、人工渚として、千葉ポートパーク人工海浜(千葉)、幕張海浜公園・幕張の浜(幕張)、葛西海浜公園・西渚(葛西)、お台場海浜公園(葛西)、横浜海の公園(金沢)の5箇所を選定し、非人工渚として小櫃川河口(小櫃)、養老川河口(養老)、江戸川放水路(江戸)、多摩川河口(多摩)、野島海岸(野島)の5箇所を調査地として選定した(図-2)。また、各渚において微地形や地盤高が異なる1~6箇所の地点を調査サイトとして選定し、合計25箇所の調査サイトを設けた。微地形の区分基準として、前浜(海岸線前面に形成される緩傾斜面)、クリーク(潮間帯の泥湿地)、砂州(潮間帯に形成される凸型地形)、瀬(潮間帯に形成される凹型地形)、ヨシ(*Phragmites communis* Trin.)群落(ヨシが優占して生育する潮間帯上部)、アイアシ(*Phacelurus latifolius* (Steud.) Ohwi)群落(アイアシが優占して生育する潮上帯)、砂浜(海岸線付近の傾斜面)を設け、各調査サイトにあてた。

図-3 チャンバー模式図

1: Wゴム栓 2: 三方活栓 3: Wゴム栓 4: キャップ
5: ゴム栓 6: チャンバー 7: 底質

Fig. 3 Shape of the chamber

1: NR rubber stopper 2: Three sides cock 3: NR rubber stopper 4: Cap 5: Rubber Stopper 6: Chamber Body 7: Sediment

3. 研究方法

3.1 調査方法

2003年10月から12月の大潮期間中の干潮時に、各調査サイトにおいて N_2O フラックス、海水の水質、底質の諸因子、生物の因子についてそれぞれ調査した。調査サイトは直径5m程度の円形内に含まれる範囲とした。

3.1.1 N_2O フラックスの測定法

N_2O フラックスは、ペットボトルを改良して作成した容積約1Lの小型チャンバー(図-3)を用いて測定した。チャンバーの下方を底質表面から3cmの深さに差し込んで設置し、キャップとゴム栓をはずした状態で15分間換気した。再びキャップとゴム栓を付けて密封し、15分間おきに内部ガスを3回採取した。採取したガスの N_2O 濃度を測定し、その変化率から N_2O フラックスを求めた。 N_2O 濃度の測定には電子捕獲検出器付きガスクロマトグラフィ(ECD-GC)を用いた¹⁾。測定反復は3回ないし4回おこなった。

3.1.2 海水の水質諸因子の測定法

満潮時に調査サイトに湛水する海水を採取し、水素イオン濃度(pH)、塩分濃度(EC値からの換算値)、溶存酸素(DO)を測定した。測定反復は1~3回おこなった。

3.1.3 底質の諸因子の測定法

現場において底質の深さ10cmの位置の酸化還元電位(Eh)とガス採取時の温度を測定した。また、深さ0cmから10cmの底質を採取して実験室に持ち帰り、水素イオン濃度(pH)、電気伝導率(EC)、シルト・クレイ率(SC%), 全炭素含有率(TC),

全窒素含有率(TN)を測定した。

EhはORPメーターによって測定し、深さ10 cmでの値をその地点底質の酸化還元状態の指標とした。ECは1:5水浸出法¹⁾により測定した。また、ECの測定に供した試料(乾土:水の重量比1:5で浸出)のpHをそのままガラス電極法¹⁾により測定し、底質のpHとした。シルト・クレイ率は0.063 mmの篩を通過した底質粒子をシルト・クレイ成分とみなし、底質粒子全重量に占める割合を算出して求めた。TCとTNはCNコーダー法により測定した。各項目の測定反復は3~6回おこなった。

3.1.3 生物の諸因子の測定法

チャンパー設置を中心にして50 cm×50 cmの方形枠を当て、枠内に含まれる抽水植物の稈の密度と直径1 mm以上の底生生物の巣穴密度を計数した。反復はN₂Oフラックスの測定と同数回おこなった。

3.2 解析

N₂Oフラックスを規定する因子について検討するため、N₂Oフラックスを目的変数とし、諸因子を説明変数として重回帰分析をおこなった。

4. 結果

4.1 渚のN₂Oフラックス測定の結果

N₂Oフラックスの測定結果を図-4に示す。渚のN₂Oフラッ

クスは測定反復によるばらつきが大きくみられたが、底質からの放出傾向がみられたサイトと、底質への吸収傾向がみられ

図-4 各調査サイトのN₂Oフラックス

フラックスの正は底質からの放出、負は底質への吸収を示す

Fig. 4 N₂O flux of each research sites

Positive value means the release of N₂O from sediment, negative value means the absorption of N₂O into sediment

表-1 各調査サイトの環境諸因子

Table 1 Environmental parameters on each research sites

調査サイト	水質因子			底質因子					生物因子			
	pH	塩分濃度(‰)	DO (mg·L ⁻¹)	Eh (mV)	ガス採取時の底質温度(°C)	TC (%)	TN (%)	SC率 (%)	pH	EC (dS·m ⁻¹)	底生生物巣穴密度 (個・0.25m ⁻²)	抽水植物密度 (稈数・0.25m ⁻²)
小櫃・前浜	7.7*	3.1*	4.7*	299	21.0	0.00	0.03	2.8	6.29	1.93	33	0
小櫃・クリーク	7.8*	2.4*	6.6*	135	19.9	0.32	0.04	16.6	6.63	1.31	55	0
小櫃・ヨシ群落	7.8*	2.4*	6.6*	131	20.6	0.47	0.05	21.3	6.74	1.49	5	12
小櫃・アイアシ群落	7.8*	2.4*	6.6*	313	20.1	1.22	0.09	38.4	6.55	1.68	27	23
養老・前浜	7.59	1.2	7.3	399	20.0	0.00	0.03	7.3	6.76	2.42	1	0
養老・砂州	7.68	0.1	8.3	107	18.6	0.11	0.05	4.1	6.96	1.45	401	0
養老・クリーク	7.46	0.1	9.7	4	19.4	1.09	0.10	63.6	7.09	3.20	486	0
千葉・砂州1	7.56	3.1	6.9	234	17.7	0.09	0.03	4.3	7.12	2.42	22	0
千葉・砂州2	7.56	3.1	6.9	167	17.6	0.16	0.03	4.3	7.71	2.55	21	0
幕張・砂州	7.59	3.5	7.4	401	13.1	0.00	0.00	1.9	7.57	2.71	0	0
幕張・瀬	7.58	3	7.9	238	12.3	0.01	0.00	1.9	7.16	3.10	2	0
江戸・前浜	-	-	-	89	18.3	0.00	0.04	5.7	6.96	3.05	22	0
江戸・砂州1	-	-	-	85	18.6	0.16	0.05	9.6	6.81	3.01	20	0
江戸・砂州2	6.90	3	6.5	145	19.6	0.08	0.05	25.1	6.95	3.56	35	0
江戸・クリーク1	6.90	3	6.5	105	19.4	0.15	0.05	23.8	6.87	2.93	20	0
江戸・クリーク2	7.32	2.8	8.5	61	21.5	0.63	0.07	47.6	6.42	3.82	25	0
江戸・ヨシ群落	7.32	2.8	8.5	16	19.9	0.76	0.09	30.9	6.17	4.09	110	7
葛西・砂州	7.89	3.1	9.0	389	14.5	0.00	0.00	3.2	6.65	2.53	2	0
お台場・砂浜1	7.41	3	5.8	455	12.5	0.00	0.03	1.3	7.06	1.32	0	0
お台場・砂浜2	7.41	3	5.8	453	13.2	0.00	0.03	3.6	7.31	1.93	0	0
多摩・砂州	7.01	1.4	6.6	467	13.3	0.17	0.07	8.9	6.85	2.55	319	0
多摩・クリーク	7.01	1.4	6.6	285	12.9	0.76	0.09	52.0	6.53	2.69	112	0
多摩・ヨシ群落	7.01	1.4	6.6	48	12.9	1.52	0.12	76.5	6.48	3.29	26	28
野島・砂浜	7.80	3.1	8.2	385	13.6	0.49	0.05	2.6	7.03	2.11	0	0
金沢・砂浜	8.03	3.2	9.5	395	15.0	0.00	0.01	1.7	6.55	2.53	0	0
計25箇所												

*2001.10.15の測定値

表-2 各環境諸因子間の相関行列

太字は相関係数の絶対値が0.8以上を示す。

Table 2 Correlation coefficients of environmental factors

The thick letters mean the absolute value of correlation coefficient is over 0.8.

	水質pH	塩分濃度	DO	Eh	ガス採取時の 底質温度	TC	TN	SC率	底質pH	底質EC	底生生物 巣穴密度	抽水植物 密度
水質pH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
塩分濃度	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DO	0.31	-0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eh	0.27	0.31	-0.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ガス採取時の底質温度	0.11	-0.12	0.00	-0.56	-	-	-	-	-	-	-	-
TC	-0.22	-0.43	0.14	-0.52	0.13	-	-	-	-	-	-	-
TN	-0.49	-0.57	0.00	-0.55	0.22	0.90	-	-	-	-	-	-
SC率	-0.48	-0.47	0.12	-0.62	0.18	0.89	0.88	-	-	-	-	-
底質pH	0.03	0.14	-0.04	0.24	-0.36	-0.40	-0.44	-0.41	-	-	-	-
底質EC	-0.53	0.05	0.40	-0.44	0.05	0.28	0.30	0.47	-0.17	-	-	-
底生生物巣穴密度	-0.17	-0.81	0.34	-0.31	0.12	0.24	0.43	0.28	0.02	0.05	-	-
抽水植物密度	-0.06	-0.16	-0.16	-0.27	0.05	0.75	0.58	0.57	-0.35	0.01	-0.13	-

たサイトが確認された。全調査サイトの平均値は $0.8 \mu\text{g N}_2\text{O}\cdot\text{N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}^{-1}$ であり全体的に放出傾向がみられた。

4.2 渚の諸因子測定の結果

渚の諸因子の測定結果を表-1に示す。また、各因子間の相関行列を表-2に示す。

4.2.1 海水の水質諸因子

pHは中性ないし弱塩基性を示した。塩分濃度は小櫃川河口の一部、養老川河口、多摩川河口で低い値を示し、他の渚では3%程度を示した。DOは $5\sim 10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ の範囲で差がみられたが、調査サイトに関連した明確な傾向はみられなかった。

4.2.2 底質の諸因子

Ehはクリークやヨシ群落で低い値を示し、前浜や砂浜で高い値を示す傾向がみられた。また、江戸川放水路の調査サイトは全体的に低い値を示した。ガス採取時の温度は $12\sim 22^\circ\text{C}$ であり、調査日によって差がみられた。TC, TN, SC率は相互に相関関係が見られ(表-2)、クリークやヨシ群落で高い値を示し、前浜や砂浜で低い値を示す傾向がみられた。pHはほぼ中性を示し、砂質の底質で高く、泥質の底質で低い傾向がみられた。ECは $1.3\sim 4.1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ の範囲で差がみられ、渚によって異なる傾向を示した。

4.2.3 生物の諸因子

底生生物の巣穴密度は海水の塩分濃度と負の相関関係が見られ(表-2)、養老川や多摩川の河口で多く、お台場、幕張、野島、金沢では少なかった。また、抽水植物は小櫃川河口、江戸川放水路、多摩川河口で調査サイト内に含まれるようにし、ヨシ、アイアシ、シオクグ(*Carex scabrifolia* Steud.)がみられた。

4.3 重回帰分析の結果

重回帰分析により N_2O フラックスに影響する因子を検討した。説明変数には環境諸因子の中から海水のpH、海水のDO、Eh、ガス採取時の底質温度、SC率、底生生物巣穴密度、抽水植物密度を選抜してもちいた。結果を表-3に示す。重回帰

表-3 重回帰分析の結果

Table 3 Result of the multiple regression analysis

目的変数 : N_2O フラックスの平均値($\mu\text{g N}_2\text{O}\cdot\text{N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}^{-1}$)	
説明変数名(単位)	標準偏回帰係数
海水のpH	-0.92 **
海水のDO($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0.24
Eh(mV)	0.54
ガス採取時の底質温度($^\circ\text{C}$)	0.56 *
SC率(%)	-0.70 *
底生生物巣穴密度($\text{個}\cdot 0.25\text{m}^{-2}$)	0.31
抽水植物密度(稈数 $\cdot 0.25\text{m}^{-2}$)	0.64 *
定数項	84.90
重回帰式の決定係数	$r^2=0.538$
分散分析表によるp値	0.037942[*]
**:有意水準1%, *:有意水準5%	

式の決定係数は0.538となった。影響因子は、有意水準を5%とし、海水のpH、SC率、抽水植物密度、底質温度が示された。

5. 考察

5.1 渚の底質の N_2O フラックスについて

本調査によって得られた渚の底質表面の N_2O フラックスは平均 $0.8 \mu\text{g N}_2\text{O}\cdot\text{N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}^{-1}$ の放出フラックスであった。 N_2O の放出フラックスは畑地において数~数千 $\mu\text{g N}_2\text{O}\cdot\text{N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}^{-1}$ 程度が報告されており^{10,13)}、本調査で得られた値は比較的低いものと捉えられた。

また、複数の調査サイトにおいて N_2O の吸収フラックスが観測された。このような N_2O の吸収現象については湛水した水田で報告されている⁷⁾。これは水田底質中の N_2O 還元が盛んにおこなわれて N_2O 濃度が相対的に不足し、大気中の N_2O が田面水を介して拡散し、底質に吸収されるためにおこると

図-5 脱窒過程に関わる還元酵素⁴⁾

A: 硝酸還元酵素, B: 亜硝酸還元酵素

C: 一酸化窒素還元酵素, D: 亜酸化窒素還元酵素

Fig. 5 Deoxidize enzymes taking part in denitrification

A: NAR, B: NIR, C: NOR, D: N₂OR

と考えられている。本調査の場合、渚の底質が干出後も水分を多く含んでいるため、水田の場合と同様に、高い水溶性をもつN₂Oが底質の間隙水に溶け込むことによってN₂Oの吸収フラックスが生じたと考えられた。また、この場合、吸収されたN₂Oは脱窒菌によりすみやかにN₂へと還元されていると考えられる。一方、N₂Oの放出が観測された調査サイトでは、N₂Oの還元による消費反応よりもN₂Oの生成反応の方が盛んにおこなわれていたことが推測できる。この場合、N₂Oの生成は、硝化過程に由来するものと脱窒過程に由来するものの両者が考えられる。

5.2 N₂Oフラックスに影響する因子

重回帰分析の結果(表-3)より、N₂Oフラックスに海水のpH、SC率、抽水植物密度、底質温度が影響していることが示された。それぞれの影響について考察した。

5.2.1 海水のpH

海水のpHについては、pHが低いほどN₂Oの放出が高くなることが示された。これに関しては、脱窒作用に関わる微生物の酵素活性の最適pHが関連していると考えられた。脱窒菌によるNO₃-NからN₂への経路において働く主な酵素⁴⁾を図-5に示す。脱窒菌の還元酵素の最適pHは中性付近であり、酸性状態において脱窒反応は抑制されることが知られている^{5,17)}。特にN₂OをN₂に還元する亜酸化窒素還元酵素は脱窒関連酵素系の中で最もpHに対する感受性が高いことが知られており⁵⁾、低いpHの条件下でN₂Oの還元は抑制されることが考えられる。本研究で得られた海水のpHは全体としてやや高い傾向にあるが、渚の底質中においても同様のメカニズムにより、低いpHの条件下でN₂Oの還元が抑制され、結果として余剰のN₂Oが放出されたと考えられた。

5.2.2 SC率

SC率については、泥成分が多いほどN₂O放出が少なくなることが示された。これは、泥成分が多いほど有機物含量が高く、従属栄養生物の脱窒菌が活発になることが原因として考えられた。また、SC率が高いほど嫌気状態になり、脱窒菌による還元反応の段階がNO₃-NやNO₂-Nの還元から電子供与体としての酸素の獲得がより困難なN₂Oの還元まで進み、N₂Oが消費されることが推測された。酸化還元電位を底質の好気・嫌気状態を示す指標と捉え、底質深10 cmの酸化還元電位が異なる3地点のN₂Oフラックスについて図-6に示す。酸

図-6 多摩川河口調査地におけるEhとN₂Oフラックスの関係Fig. 6 Relationship between Eh and N₂O flux in Tama Riv. Mouth Research Point

化還元電位が高い地点ではN₂Oのフラックスは放出を示し、この状態では底質はやや好氣的であり、脱窒過程のNO₃-Nの還元ないしは硝化過程によりN₂Oが生成されていると考えられた。一方、酸化還元電位が低い地点ではN₂Oのフラックスは吸収を示しており、この状態では底質はより嫌氣的であり、脱窒過程においてN₂Oの生成反応よりも還元により積極的に消費され、N₂が生成されていると解釈された。

5.2.3 抽水植物密度

抽水植物密度については、抽水植物が生育する場所でN₂O放出が多くなることが示された。これは、抽水植物の通気組織によって根の周囲に酸素が供給されることが既往研究²⁾により示されており、微好氣的な条件下で硝化反応がおこなわれてN₂Oが生成されるためであると考えられた。

5.2.4 底質温度

底質温度については、高温でN₂Oが放出され、低温で吸収されることが示された。一般に、脱窒過程によって発生するN₂OとN₂の割合は、高温でN₂が多く、低温でN₂Oが多くなることが知られており⁸⁾、本調査の結果はこれに反した。本調査の場合、硝化過程によって生成されるN₂Oを考慮する必要があるため、温度による水中の溶存N₂O量の変化等の観点も加えて今後の検討が必要である。

以上の考察から、N₂Oフラックスは海水のpH、底質の粒径、抽水植物の存在、温度の諸因子によって影響を受けることが示唆された。

5.3 N₂Oフラックスによる脱窒能の評価

渚の底質においてN₂Oフラックスは放出と吸収の双方の場合が観測された。これらのフラックスが示唆する底質の脱窒能の側面について考察した。

まず、フラックスの方向の違いによって、無機態窒素の除去に関わる反応が異なることが考えられた。N₂Oフラックスが放出に傾いている場合、N₂Oの消費速度よりも生成速度のほうが早いことを示す。N₂Oの生成は硝化反応によるNH₄-Nの酸化過程か、もしくは脱窒反応によるNO₃-Nの還元過程に

おいておこなわれると考えられた。一方、 N_2O フラックスが吸収に傾いている場合、消費速度と生成速度の比率は逆転し、消費速度のほうが早いことを示す。 N_2O の消費は脱窒反応による N_2O の還元によっておこなわれる。

以上を踏まえ、両フラックスについて、富栄養状態の水質を改善する無機態窒素除去機能と、大気環境への負荷の両観点から考察した。その結果、無機態窒素除去機能については、 N_2O フラックスのみからは評価できないと考えられた。 N_2O -Nとしての除去量については、放出量が多いほど無機態窒素が除去されていると考えられるが、 N_2 -Nの挙動についても言及の必要が残される。渚の底質において生成される N_2O -Nと N_2 -Nの総量を脱窒能として捉えた既往報告を参照すると、脱窒能は約 $150\sim 10,000\ \mu\text{g N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}^{-1}$ 程度と測定されている^{3,4,9,12,14,15)}。これに比べ、本調査で観測された $0.8\ \mu\text{g N}_2\text{O}\cdot\text{N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}^{-1}$ は窒素の放出量として非常に少なく、 N_2 -Nの放出量が多いことが推測される。このことから、脱窒作用による無機態窒素除去機能の評価には、 N_2O -Nのフラックスと N_2 -Nのフラックスの合計量を把握することが必要であり、アセチレン阻害法¹⁶⁾等による脱窒活性の測定と硝化活性の測定の双方による評価が有効であると考えられた。一方、脱窒作用による大気環境への負荷については、 N_2O フラックスの測定によって評価できると考えられた。 N_2O フラックスの測定により、放出による負荷と吸収による負荷軽減について、硝化反応と脱窒反応の両方から放出もしくは吸収される N_2O の挙動を直接的に観測することができると考えられた。

以上の考察より、渚の底質における N_2O フラックスとしては、放出傾向よりも吸収傾向であることの方が大気環境と海洋環境にとって望ましい状態であると考えられた。

6. おわりに

東京湾の渚の底質において干潮時に N_2O フラックスを測定したところ、放出の場合と吸収の場合がみられた。この違いは底質の粒径組成や海水の性質などの諸因子によって影響されていることが示唆された。 N_2O の挙動を把握することは水中の無機態窒素除去機能と大気への N_2O 負荷量を検討する上で重要であると考えられ、渚の保全・再生を検討するうえで無視できない要素であると考えられた。また、 N_2O の吸収現象は、栄養塩汚染の主因である無機態窒素を系外に除去するとともに、大気環境において負荷となる N_2O を除去するという二つの観点から望ましいと考えられた。 N_2O の吸収はpHが高い条件や底質粒子が細かい条件下でおこなわれる傾向が見られたことから、脱窒作用が望ましい状態で進められる条件を検討することは有効であると考えられた。

引用文献

- 1) 土壤環境分析法編集委員会 (1997) 土壤環境分析法, 博友社: pp.427
- 2) 細見正明 (1994) ヨシ人工湿地による水質浄化法, 用水と廃水36(1): 40-43
- 3) 伊藤和夫・土山秀樹・山守英朋・浦野久美子 (1991) 干潟底泥における脱窒量の測定法の比較, 水質汚濁研究14(12): 867-875
- 4) 岩橋良憲・登千江子・丸山繁・古川憲治 (2000) 脱窒能に着目した干潟の浄化能の評価, 日本水処理生物学会誌36(3): 153-159
- 5) 岩田進午・喜田大三 (1997) 土の環境圏, フジテクノシステム: pp.1388
- 6) J. T. Houghton, et al. eds. (1994) "Climate Change 1994" Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios, Cambridge University Press, Cambridge, pp.1-34.
- 7) Katsuyuki Minami, Sadao Fukushima (1984) Methods for measuring N_2O flux from water surface and N_2O dissolved in water from agricultural land, Soil Science and Plant Nutrition, 30(4), pp.495-502
- 8) 川口桂三郎 (1978) 水田土壌学, 講談社: pp.572
- 9) 桑江朝比呂・三好英一・小沼晋・井上徹教・中村由行 (2004) 干潟再生の可能性と干潟生態系の環境変化に対する応答—干潟実験施設を用いた長期実験—, 港湾空港技術研究所報告43(1): 21-48
- 10) 前田美恵子・久野智香子・北村秀教 (2001) 茶園土壌からの亜酸化窒素(N_2O)の放出量の推定, 愛知農総試験報33: 109-114
- 11) 小川浩史・小倉紀雄 (1990) 東京湾における水質変動 (1980-1988), 地球科学24: 43-54
- 12) 佐々木克之 (1995) 内湾および干潟における物質循環と生物生産(13)—色干潟における脱窒素反応による窒素の消失, 海洋と生物17(1): 16-23
- 13) 澤本卓治・波多野隆介 (2000) 北海道の土壌構造が発達した灰色低地土タマネギ畑からの N_2O フラックス, 日本土壌肥科学雑誌71(5): 659-665
- 14) 清家泰 (1986) 汽水湖・中海における窒素代謝Ⅱ—夏期における底泥表層部での脱窒特性—, 陸水学会誌47: 133-141
- 15) 白旗清伸・吉田浩義・中井智司・細見正明・村上昭彦 (2001) 河口域の干潟における脱窒能の評価, 水環境学会誌24(11): 773-777
- 16) Yoshinari T., Hynes R. and Knowles R. (1977) Acetylene inhibition of nitrous oxide reduction and measurement of denitrification and nitrogen fixation in soil, Soil Biology and Biochemistry, 9, pp.177-183
- 17) Wijler J. and C. C. Delwiche (1954) Investigations on the denitrifying processes in soil, Plant and Soil, 5, pp.155-169

(2004.5.15 受理)