

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760406

研究課題名（和文）

東京都内地下水中の N ニトロソジメチルアミンおよびその生成能の実態解明

研究課題名（英文）

Occurrence and formation potential of *N*-nitrosodimethylamine in ground water in Tokyo

研究代表者

村上 道夫（MURAKAMI MICHIO）

東京大学・「水の知」（サントリー）総括寄付講座・特任講師

研究者番号：50509932

研究成果の概要（和文）：*N*-ニトロソジメチルアミン（NDMA）は消毒工程で生成される発がん性物質である。本研究では、東京近郊の地下水および河川水中 NDMA とその生成能の実態調査と土壌浸透過程での挙動の解析を行った。東京近郊の地下水と河川水中の NDMA 濃度が同程度だった一方、地下水中の NDMA 前駆物質濃度は河川水よりも顕著に低かった。NDMA 前駆物質の一部には難吸着性・難微生物分解性を示すものもあったが、大部分は土壌によって吸着されるか微生物分解され、土壌浸透によって NDMA 前駆物質濃度が低下することが示唆された。

研究成果の概要（英文）：*N*-nitrosodimethylamine (NDMA), a disinfection byproduct of water treatment processes, is a potent carcinogen. Its occurrence and formation potential in ground water and river water in Tokyo are investigated. Their behavior during infiltration is also analyzed. NDMA concentrations in ground water were slightly lower than or comparable to those in river water, whereas NDMA precursor concentrations in ground water were significantly lower than those in river water. Some parts of NDMA precursors were persistent but most of them were removed by soils owing to degradation and/or adsorption, suggesting NDMA precursor concentrations can decrease during infiltration.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：土木環境システム、環境分析、新規汚染物質

## 1. 研究開始当初の背景

持続可能な水資源を確保するために、都市内自己水源として地下水が再評価されつつある。東京都区部では、1970年頃からの揚水規制に起因して被圧地下水水位が上昇しつづけており、鉄道駅などの地下施設へ影響を及ぼすことが危惧されている一方で、非常災害用水、環境用水、ヒートアイランド対策と

しての路面散水といった地下水の有効利用が期待されている。また、近年、病院施設などを中心に、上水道から地下水を利用した専門水道への切り替えも進んでいる。

*N*-ニトロソジメチルアミン（NDMA）は、*N*-ニトロソアミン類に属する物質で、国際がん研究機関（IARC）によってグループ 2A（ヒトに対しておそらく発がん性がある）に分類さ

れている。NDMA は世界保健機構 (WHO) により飲料水水質ガイドライン値として 100ng/L、厚生労働省により水道水質基準の要検討項目の目標値として 100ng/L が定められている。

NDMA はクロラミン処理、アンモニア存在下での遊離塩素処理における副生成物として生成し、その前駆物質としてジメチルアミンや Natural Organic Matter (NOM) が知られている。またオゾン処理によっても生成することが示されている。NDMA は親水性物質であり、通常の浄水処理では除去に限界があることが知られている。

NDMA は、その親水性ゆえに土壤粒子への吸着を受けにくく、地下水汚染が懸念されるが、地下水中の NDMA に関する情報は限られている。東京京都内には、10mgN/L を超過する高濃度 NH<sub>3</sub> で汚染された井戸が複数存在しており、また、未処理下水の漏洩などによって汚染された井戸もあることが分かっている。東京都内地下水は、NDMA およびその前駆物質を高濃度で含む可能性がある。また、高濃度の NH<sub>3</sub> の存在下では、遊離塩素処理においても NDMA が生成される可能性がある。表流水や水道水における NDMA の報告例がある一方、国内における地下水中の実態については不明な点が多い。国内外を問わず、地下水中 NDMA 前駆物質を広域で調査した例はない。さらに、それらの土壤浸透過程での挙動についても不明な点が多い。

東京都内地下水中の NDMA および NDMA 前駆物質の汚染実態を調査するとともに、土壤浸透過程での挙動を解明することで、NDMA による地下水汚染の改善の観点から有用な知見が得られると考えられる。

## 2. 研究の目的

(1) 東京近郊の地下水中 NDMA とその生成能を調査し、その結果を河川水と比較することで汚染レベルを評価した。生成能の評価は、遊離塩素を日本の実際の浄水処理工程での注入率に近いレベルで添加した方法と、モノクロラミンを高濃度で注入した方法とで評価した。ここでは、遊離塩素の注入後の NDMA を NDMA-FP (Cl<sub>2</sub>) と記し、モノクロラミン注入後の NDMA を NDMA-FP と記す。NH<sub>3</sub> 濃度と遊離塩素の添加による NDMA 生成の関係や NDMA 前駆物質の起源を解析した。

(2) NDMA 前駆物質の特性評価を行うために、地下水および河川水中の NDMA 前駆物質の分子量分布を明らかにした。さらに、NDMA 生成へのジメチルアミンの寄与率の推定を行った。

(3) 土壤浸透過程での挙動を明らかにするために、蒸留水に NDMA を添加した試料や河川水について、土壤試料と混合して好気条件

下で振とうし、試料中の NDMA とその前駆物質の土壤への吸着と微生物による分解を評価した。NDMA だけでなく、N-ニトロソアミン類の一種である NMOR およびその前駆物質についても同様の試験を行い、吸脱着や微生物分解性の違いを比較した。

## 3. 研究の方法

### (1) 試料採取

#### ①水試料

地下水および河川水中の NDMA および NDMA 生成能 (NDMA-FP (Cl<sub>2</sub>), NDMA-FP) を比較するために、2009 年から 2010 年に東京近郊の地下水および河川水を採取した。湧水、防災井戸などの公共井、浴場用などの私有井の計 23 地点から地下水を採取した。入間川 (R. I)、荒川 (R. A1-4)、江戸川 (R. E1-3)、多摩川 (R. T1-4)、鶴見川 (R. TS1-3) の計 15 地点から河川水を採取した。ガラス製繊維ろ紙 GF/F (0.7μm) でろ過した試液を NDMA および NDMA 生成能の分析に供した。この内、2 つの地下水試料 (GW-05 および GW-20) と 2 つの河川水試料 (R. TS3 および R. T3) について、NDMA 前駆物質の分子量分布を調べた。

NDMA 生成へのジメチルアミンの寄与率の推定には、神田川河川水および下水放流水を用いた。それぞれ、2011 年 9-11 月に神田川お茶の水橋および北多摩一号水再生センター放流口で採取した。採取した水試料は GF/F ガラス繊維ろ紙を用いてろ過した。

土壤浸透過程での挙動を明らかにするために、鶴見川河川水 (R. TS3) から 2011 年 11 月に採取した。

#### ②土壌試料

土壌試料は秩父の東京大学演習林にて 2011 年 10 月に採取した。採取した土は 7 日間風乾させ 2mm のふるいにかけた後、冷蔵庫に保存した。採取地点の異なる 2 種類の土壌試料をそれぞれ土壌 A、土壌 B とした。

### (2) 分析方法

#### ①NDMA および NMOR

NDMA 濃度および NMOR 濃度は、固相抽出で試料の濃縮を行った後、UPLC-MS/MS を用いて測定した。水試料を 200mL から 500mL の間で定量し、NDMA と NMOR の同位体 (NDMA-d6、NMOR-d8) を 5ng と、炭酸水素ナトリウムを水試料に対して 2g/L の割合となるように添加した。次に、ジクロロメタン 10mL、メタノール 10mL、蒸留水 20mL によりコンディショニングした Resprep カートリッジ (EPA Method 521) に水試料を 5mL/min で流した後、カートリッジを窒素吹き付けにより乾燥させた。10mL ジクロロメタンによりカートリッジから溶出し、溶出液を窒素吹き付けによって 200μL まで濃縮、定容した。濃縮倍率は 1000 倍から 2500 倍とした。続いて、濃縮し

た試料をUPLC-MS/MSを用いて測定した。NDMAとNMORの分離に使用したのはAcquity UPLC system (Waters)で、使用したカラムはBEHC18 column (Waters)である。移動相には0.1%ギ酸と100%アセトニトリルを用いた。NDMAとNMORの計測はAcquity TQD tandem mass spectrometer (Waters)を用い、イオンモードはESCI+で行った。

#### ②NDMA-FP (Cl<sub>2</sub>)

NDMA-FP (Cl<sub>2</sub>)は、日本水道協会の上水道試験法における消毒副生成物生成能の試験方法に準じて測定した。リン酸緩衝液と遊離塩素を添加し(pH 7.0±0.2)、20°Cの暗所にて24時間静置後のNDMA濃度を測定した。24時間後の残留遊離塩素濃度が1-2mgCl<sub>2</sub>/Lとなるようにした。

#### ③NDMA-FP および NMOR-FP

水試料中のNDMAとNMORの前駆物質濃度を定量化するために、NDMA-FPとNMOR-FPを測定した。水試料にリン酸緩衝液および終濃度140mgCl<sub>2</sub>/Lのモノクロアミンを添加し(pH 6.8±0.2)、20°Cの暗所にて10日間静置後のNDMAおよびNMORを測定した。NDMA-FPとNDMAの濃度の差をNDMA前駆物質濃度と定義した。

#### ④ジメチルアミン濃度

ジメチルアミン濃度の測定は、千葉県薬剤師会検査センターに依頼した。測定方法を以下に示す。

サンプルはジメチルアミンを添加した試料と添加していない試料に分け、添加回収率で補正させて定量した。試料水100mLに50%炭酸カリウム水溶液を0.4mL添加し、pHが10-11のアルカリ性にした。1mL分取後、0.1mg/Lジメチル-d<sub>6</sub>-アミンを10μL、60mg/mL-pトルエンスルホンクロリドを10μL添加し、常温で2時間誘導体化反応させてN,N-ジメチル-pトルエンスルホンタミド(以下DMPTSA)を生成した。これを試験液としてLC-MS/MSによる測定を行った。用いた測定機種はHPLC:LC20ADvp(島津製作所)、MS/MS:API4000(エービーサイエックス社製)で、分離カラムはZORBAX Eclipse Plus C18(アジレントテクノロジー社製)、内径4.6mm、長さ50mm、粒径1.8μmであった。移動相には0.1%ギ酸水溶液と100%メタノールを用いた。

#### ⑤その他の水質項目

メンブレンフィルター(0.45μm)でろ過後した試液の溶存有機炭素(DOC)、NO<sub>2</sub>、NO<sub>3</sub>、NH<sub>3</sub>を測定した。DOCは全有機炭素系TOC-V(Shimadzu)、NO<sub>2</sub>およびNO<sub>3</sub>はイオンクロマトグラフィー761 compact IV (Metrohm)、NH<sub>3</sub>はサリチレート法あるいはインドフェノール青法を用いて測定した。

#### (3) NDMA 前駆物質の分子量分布

30kDa 親水性強化セルロースメンブレン、3kDa 親水性強化セルロースメンブレン、

0.5kDa セルロースアセテートのUF膜を用いることで、NDMA前駆物質の分子量分布を測定した。

#### (4) NDMA 生成へのジメチルアミンの寄与率の推定

NDMA前駆物質に占めるジメチルアミンの割合の推定を行った。方法を以下に記す。

ジメチルアミン濃度とNDMA-FPの関係は直線近似できると仮定し、対象とした水試料ごとにジメチルアミンを添加していない試料と2.0μg/L添加した試料とを用意し、両試料のNDMA-FPを測定することで、寄与率の推定を行った。

#### (5) 水試料と土壌試料を用いた振とう実験

振とう実験は1Lガラス褐色瓶を用いて行った。経過時間による変化を観察する実験では、それぞれの経過時間ごとに別々の1Lガラス褐色瓶を準備した。フタには好気条件を保つためにシリコ栓を用いた。使用する土壌試料の乾燥重量を35g、水試料を700mLとして(固液比=1:20)1Lガラス褐色瓶に添加し混合した。1Lガラス褐色瓶をインキュベーターに入れ、25°C暗所で振とうさせ混合状態を保った。一定時間振とうさせた試料は、遠心分離機を用いて、重力加速度1600G、20分間遠心分離を行った後、GF/Fガラス繊維ろ紙を用いてろ過を行い、次の操作を行うまで冷蔵庫に保存した。

蒸留水中のNDMAとNMORの土壌への吸脱着および微生物分解を調べる実験では、NDMA濃度とNMOR濃度がともに100ng/Lとなるように調整した蒸留水(以後DW100と記す)を用い、土壌Aと振とうさせ、NDMA濃度とNMOR濃度の変化を観察した。実験を行った系は、DW100と土壌Aの系、DW100と土壌Aに塩化ナトリウムを加えた系、DW100と土壌Aにアジ化ナトリウムを加えた系の3系統である。塩化ナトリウムは塩分濃度の及ぼす影響を考察するために用意し、アジ化ナトリウムは微生物の働きを抑制するために用意した。塩化ナトリウムとアジ化ナトリウムは試料水に対してモル濃度がいずれも0.015mol/Lとなるように添加した。各サンプルの振とう時間は、1時間、1日、4日、7日、14日とした。また、土壌AからのNDMAおよびNMORの溶出がどの程度あるのかを確認するために、NDMAとNMORを添加していない蒸留水と土壌Aの、振とう時間1時間と1日の系も用意した。

土壌中のNDMA前駆物質とNMOR前駆物質の水試料中への溶出を観察する実験では、カートリッジ通過水を土壌Bと振とうさせることにより、土壌Bから水試料中にどの程度のNDMA前駆物質およびNMOR前駆物質が溶出しているかを、カートリッジ通過水中のNDMA-FPとNDMA-FPの変化を通じて観察した。

振とう時間は1日、4日、7日、14日とした。

河川水中のNDMA前駆物質およびNMOR前駆物質の土壌への吸脱着および微生物分解を観察する実験では、河川水として鶴見川河川水を用い、土壌Bと振とうさせ、NDMA-FPとNMOR-FPの変化を観察することにより、河川水中のNDMA前駆物質およびNMOR前駆物質が土壌中の粒子による吸着や微生物による分解によって除去されるかどうかを観察した。振とう時間は1日、4日、7日、14日とした。

#### 4. 研究成果

(1) 東京都内地下水および河川水中の NDMA および NDMA 前駆物質濃度の比較

図1に東京近郊の地下水および河川水中のNDMA濃度を示す。地下水および河川水中のNDMA濃度は、それぞれ0.5-5.2ng/L(中央値0.9ng/L)、0.4-3.4ng/L(2.2ng/L)であった。地下水中のNDMA濃度は河川水と同程度かわずかに低かった。

図2にNH<sub>3</sub>と遊離塩素によって生成されたNDMAの関係を示す。遊離塩素添加の結果、ほとんどの試料からはNDMAの顕著な生成は見られなかった(<4ng/L)が、高濃度のNH<sub>3</sub>を含む水試料からNDMAの生成が確認された。これは、NH<sub>3</sub>と遊離塩素が反応することで生成されたモノクロアミンがNDMA前駆物質と反応することでNDMAが生成されたと考えられた。

地下水および河川水中のNDMA前駆物質濃度は、それぞれ4-84ng-NDMA eq./L(中央値10ng-NDMA eq./L)、11-185ng-NDMA eq./L(51ng/L)であり、地下水中のNDMA前駆物質濃度の方が河川水よりも有意に低かった(t検定、P<0.05)。

NDMA前駆物質の起源の解析をするために、無機窒素(NO<sub>2</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N+NH<sub>3</sub>-N)との相関関係を調べた。その結果を図3に示す。河川水ではNDMA前駆物質濃度と無機窒素濃度の間には強い有意な正の相関関係があった( $r^2=0.81$ ,  $P<0.01$ )。都市河川では、無機態窒素は下水処理水に由来すると考えられる。河川水中のNDMA前駆物質は、下水処理水に由来することが示唆された。一方、地下水中ではNDMA前駆物質濃度と無機態窒素濃度の間には有意な相関関係は得られなかった( $r^2=0.02$ ,  $P>0.1$ )。東京の地下水中の無機態窒素は、自然土壌、肥料、未処理下水など様々な起源に由来することが知られている。そこで、汚水マーカーの医薬品であるクロタミトンとNDMA前駆物質の相関関係も調べたが、有意な相関関係は得られなかった。この理由として、NDMA前駆物質が未処理下水以外の起源があるか、クロタミトンと土壌浸透過程での挙動が異なることが考えられる。

NDMA前駆物質として、ジメチルアミンやNOMが知られている。図4にNDMA前駆物質と

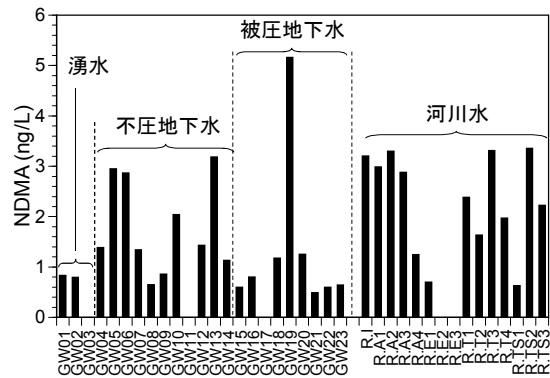


図1 地下水および河川水中のNDMA濃度

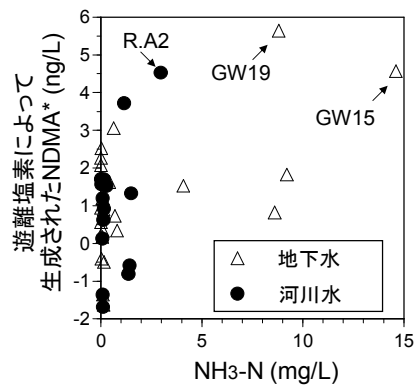


図2 NH<sub>3</sub>と遊離塩素によるNDMA生成の関係 (\*: NDMA-FP(C1<sub>2</sub>)-NDMA)

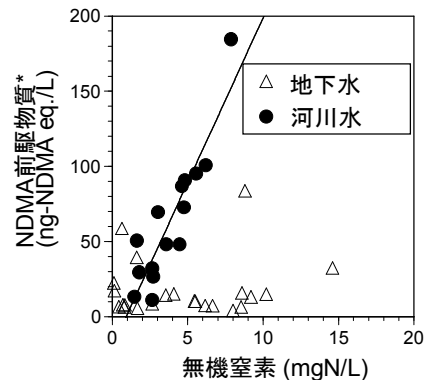


図3 NH<sub>3</sub>と遊離塩素によるNDMA生成の関係 (\*: NDMA-FP-NDMA)

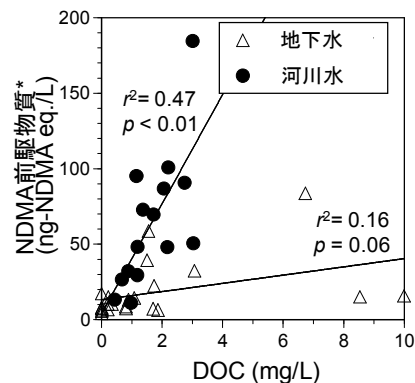


図4 DOCとNDMA前駆物質の相関関係 (\*: NDMA-FP-NDMA)

DOCの相関関係を示す。NDMA前駆物質とDOCの間には、弱い有意な相関関係がみられ、DOCに対するNDMA前駆物質の比は、地下水の方が河川水よりも低かった。この一因として、土壤浸透過程で、NDMA前駆物質が吸着・揮発・微生物分解された可能性があげられる。

### (2) NDMA前駆物質の特性評価

図5にNDMA前駆物質の分子量分布を示す。河川試料では、R.TS3とR.T3の両方とも、NDMA前駆物質は<0.5kDaの画分が最も多く、次いで0.5-3kDaの画分に多く存在した。一方、地下水試料では、GW05とGW20のNDMA前駆物質の分子量分布は異なり、GW05では0.5-3kDaの画分に、GW20では<0.5kDaの画分に多く存在していた。NDMA前駆物質は、3kDa以上の画分にはほとんど存在しないこと、<3kDaの画分では、地下水と河川水で分布が異なることが明らかとなった。

次に、ジメチルアミンのNDMA生成への寄与率の推定を行った。鶴見川河川水のジメチルアミン濃度は0.7 $\mu\text{g/L}$ 、NDMA-FPは180 $\text{ng/L}$ であった。ジメチルアミンを2.0 $\mu\text{g/L}$ 添加した後のNDMA-FPは223 $\text{ng/L}$ であり、43 $\text{ng/L}$ 増加した。これより、ジメチルアミン0.7 $\mu\text{g/L}$ に相当するNDMA-FPは15 $\text{ng/L}$ と算定され、鶴見川河川水におけるジメチルアミンによるNDMA-FPの寄与率は8.4%と算定された。同様に、下水放流水では、ジメチルアミンによるNDMA-FPの寄与率は3.9%となった。ジメチルアミン以外にも多くのNDMA前駆物質が存在していることが明らかとなった。

### (3) NDMA、NMOR およびそれらの前駆物質の土壤浸透過程での挙動の解明

#### ①NDMAとNMORの土壤への吸脱着および微生物分解

DW100を土壤Aと振とうさせ、NDMA濃度、NMOR濃度の経時変化を観察した。結果を図6と図7に示す。また、蒸留水(NDMAおよびNMOR非添加)を土壤Aと振とうさせた系では、NDMA濃度およびNMOR濃度はそれぞれ1時間後に2.2 $\text{ng/L}$ と5.6 $\text{ng/L}$ 、1日後で不検出と6.7 $\text{ng/L}$ でありいずれもDW100の100 $\text{ng/L}$ に比べると

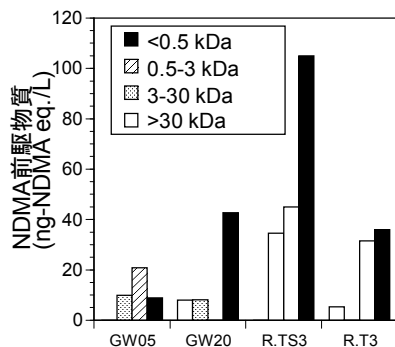


図5 NDMA前駆物質の分子量分布

無視できる程度の値であった。

DW100と土壤Aの系、DW100と土壤Aに塩化ナトリウムを添加した系では、1日後にはNDMA濃度が急激に低下し、その後も低い状態が保たれた。それに対して、DW100と土壤Aにアジ化ナトリウムを添加した系では、NDMA濃度の減少はみられなかった。このことより、NDMAが土壤中の微生物の働きにより分解され、しかも大部分が振とう時間1日の間に分解されたということがわかった。また、アジ化ナトリウムを添加した系で明確なNDMA濃度の減少がみられなかったことから、土壤A中の粒子との吸着によるNDMAの除去はほとんど起こらなかったと考えられる。そのため、塩分濃度の違いによる土壤への吸着性に変化は観察されなかった。

一方、NMORに関しては全ての条件において明確な濃度減少はみられなかった。このことより、NMORは今回用いた土壤A中の微生物によっては分解されず、NDMAのみが分解されたと考えられる。また、NMORも土壤A中の粒子との吸着による除去はほとんど起こらなかったと考えられる。

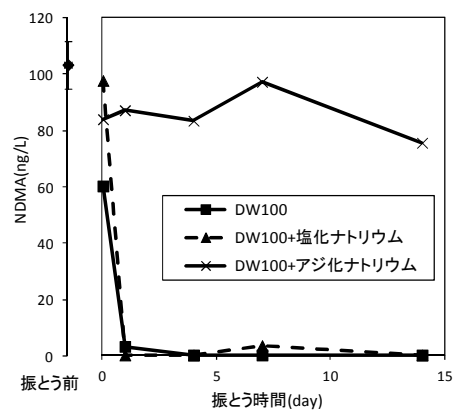


図6 土壤との振とうによる蒸留水中のNDMA濃度の経時変化

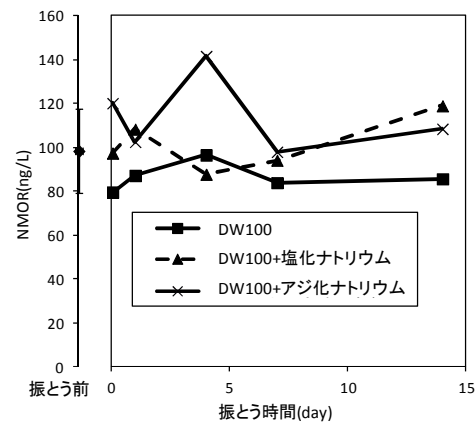


図7 土壤との振とうによる蒸留水中のNMOR濃度の経時変化

## ②NDMA前駆物質とNMOR前駆物質の土壤に対する吸脱着および微生物分解

土壤 B と振とうさせる前のカートリッジ通過水の NDMA-FP に比べ、土壤 B と振とうさせた後のカートリッジ通過水の NDMA-FP は高かった。このことから、NDMA 前駆物質が土壤 B 中から溶出したと考えられた。また、NMOR-FP はカートリッジ通過水からは全く検出されず、土壤 B との振とう後のカートリッジ通過水の NMOR-FP は全て土から溶出したものによると考えられた。NMOR-FP は振とう 1 日後には値が 20ng/L 近くまで上昇し、その後、漸次減少していったことがわかる。このことから、カートリッジ通過水中の NMOR-FP の上昇はまず土壤 B から NMOR 前駆物質または NMOR そのものが溶出したことにより上昇し、その後それが土壤 B 中の粒子によって再吸着されたか、もしくは土壤 B 中の微生物によって分解されたために減少したと考えられた。DW100 や鶴見川河川試料を用いた実験において、NMOR が土壤中の微生物によって分解されたり、土壤粒子により吸着除去されているという現象は観察されなかったことから、NMOR-FP の減少は NMOR 自体の減少ではなく、NMOR 前駆物質の減少であると考えられた。つまり、土壤から溶出した NMOR-FP の多くは、NMOR 前駆物質であるとと考えられた。同様の結果は、鶴見川河川水と土壤 B を浸透させた際にも得られた。

次に、鶴見川河川水と土壤 B を振とうさせた際の、NDMA-FP の経時変化を図 8 に示す。鶴見川河川水の NDMA-FP は土壤 B との振とうにより減少した。しかし、1 日後から 14 日後にかけての明確な減少傾向はみられなかった。このことより、1 日の間に、NDMA 前駆物質の一部が土壤 B 中の粒子との吸着により除去されたか、微生物により分解され、その後一部の難分解性難吸着性の NDMA 前駆物質が残留したと考えられた。

東京近郊において、河川水よりも地下水の方中の NDMA 前駆物質濃度が有意に低かった理由として、土壤による吸着や微生物分解が生じていると推察された。

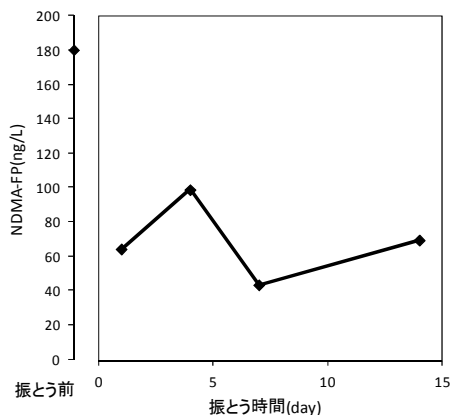


図 8 河川水中の NDMA-FP の経時変化

## 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 1 件)

1. Nguyen Van Huy, Michio Murakami, Hiroshi Sakai, Kumiko Oguma, Koji Kosaka, Mari Asami, Satoshi Takizawa: Occurrence and formation potential of *N*-nitrosodimethylamine in ground water and river water in Tokyo, Water Research, 45(11), pp.3369-3377, 2011. (査読あり)

[学会発表] (計 3 件)

1. Michio Murakami, Nguyen Van Huy, Hiroshi Sakai, Kumiko Oguma, Koji Kosaka, Mari Asami, Satoshi Takizawa: Occurrence and formation potential of *N*-nitrosodimethylamine in groundwater and rivers in metropolitan Tokyo, Proceedings of Micropol & Ecohazard 2011. (Sydney, Australia 2011. July. 12) [oral presentation]
2. 村上道夫, グエンバンフイ, 酒井宏治, 小熊久美子, 小坂浩司, 浅見真理, 滝沢智: 東京近郊の地下水および河川水における *N*-ニトロソジメチルアミンとその生成能の評価, 第 45 回水環境学会年会講演集, 第 45 回水環境学会年会講演集, 1-I-14-1, p.215. (札幌, 2011.3.18-20)
3. N. Van Huy, M. Murakami, H. Sakai, K. Oguma, K. Kosaka, M. Asami, S. Takizawa: Occurrence and formation potential of *N*-nitrosodimethylamine in groundwater and river in Tokyo, 第 19 回環境化学討論会, P-211, pp. 738-739. (春日井市, 2010.6.21-23) [ポスター発表]

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

村上 道夫 (MURAKAMI MICHIO)

東京大学・「水の知」(サントリー) 総括寄付講座・特任講師

研究者番号: 50509932