

## (16) *N*-ニトロソジメチルアミンの紫外線分解と遊離塩素添加による再生成の評価

高松 達朗<sup>1\*</sup>・酒井 宏治<sup>1</sup>・小熊 久美子<sup>1</sup>・村上 道夫<sup>2</sup>・小坂 浩司<sup>3</sup>  
浅見 真理<sup>3</sup>・滝沢 智<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

<sup>2</sup> 東京大学 総括プロジェクト機構「水の知」(サントリー) 総括寄付講座(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

<sup>3</sup> 国立保健医療科学院 水道工学部 (〒351-0197 埼玉県和光市南2丁目3-6)

\* E-mail: takamatsu@env.t.u-tokyo.ac.jp

*N*-ニトロソジメチルアミン(NDMA)は、水のオゾン処理や塩素処理で副生成しうる物質で、発がん性が指摘され水道水質基準の要検討項目に追加された。NDMAは、紫外線照射で分解される一方、紫外線照射後の塩素添加により再生成する可能性が指摘されている。そこで本研究では、浄水プロセスにおけるNDMAの紫外線分解を想定し、Milli-Q水および水道水中に100ng/LのNDMAを添加して紫外線照射実験を行った。その結果、Milli-Q水中、水道水中のNDMAは、低圧紫外線ランプ(1730mJ/cm<sup>2</sup>)または中圧紫外線ランプ(2200mJ/cm<sup>2</sup>)の照射により90%以上分解された。紫外線照射後の塩素添加実験によりNDMA再生成を評価した結果、塩素添加後24時間以内のNDMA再生成は認められなかった。

**Key Words :** *N*-nitrosodimethylamine, photodegradation, ultraviolet, chlorine, reproduction

### 1. はじめに

*N*-ニトロソジメチルアミン(NDMA)は、分子量74、沸点151℃の物質である。NDMAは国際がん研究機関(IARC)によると2A(おそらくヒトに対して発がん性がある)に分類され<sup>1)</sup>、世界保健機構(WHO)の飲料水水質ガイドラインでは100ng/Lのガイドライン値が設定され<sup>2)</sup>、米国環境保護庁(EPA)では10<sup>5</sup>の発ガンリスクが7ng/Lとなっている<sup>3)</sup>。また、日本の水道水質基準では要検討項目にされ、目標値は100ng/Lとなっている<sup>4)</sup>。

NDMAは、農薬、ゴム製品、染料等の製造時の副生成物として生成され、これらの工場から排出される<sup>5)</sup>。また、下水処理場の処理水からも検出された事例がある<sup>6)</sup>。NDMAは環境中(主に河川水中)では数~数十ng/Lの濃度で存在する<sup>7,8)</sup>。

また、NDMAは、浄水処理プロセスでは塩素処理、特にアンモニア性窒素存在下の結合塩素処理で生成されることが報告されており<sup>9)</sup>、NDMAはオゾン処理でも生成することが報告されている<sup>10)</sup>。

NDMAの処理方法としては、活性炭と、ナノろ過膜

を組み合わせて除去を検討した事例があるが、除去効率が前者では20%程度、後者では40%程度と低かった<sup>11)</sup>。一方、NDMAは、紫外域の227nmと332nmに吸収極大を持ち、量子収率が0.41と高いことから、紫外線を用いた分解処理が注目され検討されてきた。Sharpless and Linden<sup>12)</sup>は、初期濃度1μMのNDMAを低圧紫外線ランプ、中圧紫外線ランプを用いて分解し、その分解速度を算出した。Stefan and Bolton<sup>13)</sup>は初期濃度1mMの蒸留水中のNDMAを中圧紫外線ランプによって分解し、その分解生成物がジメチルアミン、メチルアミン、亜硝酸、硝酸イオンなどであることを報告した。一方NDMAは亜硝酸存在下でジメチルアミンのニトロソ化反応によって生成する<sup>14)</sup>ことを考えると、紫外線による分解生成物がそのままNDMAの前駆体となる可能性がある。また、ジメチルアミンとアンモニアが存在する場合に塩素消毒によりNDMAが生成する<sup>15)</sup>。従って、前駆物質が存在し、塩素消毒を行っている水道水では、NDMAが水道水に含まれるリスクが存在する。水処理工程における紫外線処理によるNDMAの分解を考察するためには、紫外線処理後の塩素処理工程におけるNDMAの再生成

のリスクの変化を把握することが不可欠である。

また、従来のNDMAの紫外線照射実験は、初期濃度数mM程度の高濃度で行われおり、浄水プロセスへの適用性を評価するためには、実際の水道水源中で検出されるような低濃度での分解性についての知見が必要である。

本研究では、浄水処理プロセスにおいて紫外線照射によりNDMAを分解除去することを想定し、実験的に検討を行った。具体的には、紫外線照射の有効性を評価するために実際の水環境中に近い濃度(100ng/L)でのNDMAの紫外線照射実験を行った。

また、紫外線によるNDMAの分解生成物を前駆体として塩素処理によりNDMAが再生成するかどうかを検討するため、紫外線処理を行った後試料に塩素添加し、NDMA再生成の有無を調べた。紫外線照射と塩素添加を併用した水試料について、水道法の基準値(遊離塩素で0.1mgCl<sub>2</sub>/L結合塩素で0.4mgCl<sub>2</sub>/L)を満たすかどうかについても併せて検討した。

## 2. 実験方法

### (1) 試薬および保存溶液

本研究では、各溶液の調整にはMQ Integral 5(Millipore)で精製したMilli-Q水を使用した。超高速液体クロマトグラフタンデム質量分析計(UPLC-MS/MS)溶離液のみ蒸留水(関東化学)を使用した。次亜塩素酸ナトリウム溶液は、市販溶液(キシダ化学)をMilli-Q水で希釈した後に使用した。NDMA、NDMA-d<sub>6</sub>(98%)は、それぞれSupelco, Cambridge Isotope Laboratoriesから購入した。3%チオ硫酸ナトリウム水溶液は、市販試薬(キシダ化学)をMilli-Q水で希釈して3%としたものを作成して使用した。また、試料水のNDMA濃度測定の前処理の際にはメタノール、ジクロロメタン、炭酸水素ナトリウム(全てキシダ化学)と蒸留水(WAKO)、純窒素(G3)を使用した。

### (2) NDMAの紫外線分解とその後の塩素添加による再生成

本研究では、表1に示す7つの条件で100ng/LのNDMA

に対して紫外線照射処理と塩素添加処理を行った。

NDMAはMilli-Q水もしくは水道水に溶解したものを使用した。水道水は、東京大学工学部14号館の水道水を2日間曝気して塩素を除去したものを使用した。本実験は、高度浄水処理においては、オゾン処理によりNDMA濃度が增大するという報告がある<sup>19)</sup>ため、高度処理後に塩素処理前に簡易な紫外線処理を負荷してNDMA分解除去を行うことと紫外線照射後の塩素処理によるNDMA再生成の検証を行うことと想定した。なお、本研究では、どのような処理プロセスを想定するかよりも、NDMA分解生成物からの塩素添加による再生成の検証に主眼を置いたために、試料として曝気した水道水を採用した。また、この水道水は主に朝霞浄水場から供給されている。朝霞浄水場では、通常処理(急速砂ろ過)と高度処理(急速砂ろ過+オゾン+活性炭)を併用しており、それら二系統の処理水が混合されて給水されている。朝霞浄水場の水源は秋ヶ瀬取水堰から取水された利根川・荒川の河川水である。本研究を行った時期に最も近い時期(平成21年10~12月)の東京都水道局による水質調査によると、朝霞浄水場出口における水質は、pH7.5、全有機炭素が0.6mg/L、硝酸態窒素および亜硝酸態窒素が2.6mg/Lであった<sup>20)</sup>。試料水500mLに、低圧紫外線ランプ(National GL-15, 15W×2)もしくは中圧紫外線ランプ(EBARA B410MW, 330W×1)を照射した。低圧紫外線ランプは、254nmの単一波長を出力するランプであるが、中圧紫外線ランプは200-600nmの間で多様な波長を出力する特徴がある。全ての紫外線照射実験は、ガラスビーカー(SHIBATA)に試料500mLを入れたものに対して行い、紫外線ランプから試料の水面までの距離は低圧ランプでは485mm、中圧ランプでは158mmであった。また、500mLビーカーの500mLの水面から底面までは87mmであった。これは水深と同じである。ヨウ化カリウム線量計<sup>17)</sup>により測定した紫外線線量率は、低圧紫外線ランプで0.48mW/cm<sup>2</sup>、中圧紫外線ランプで1.22mW/cm<sup>2</sup>であった。照射時間は低圧紫外線ランプの場合には20、39.6、60分、中圧紫外線ランプの場合には10、20、30分とした。紫外線照射後に塩素添加を行う系では、次亜塩素酸ナトリウム溶液を添加してから3%チオ

表1 本研究で行った紫外線照射—塩素消毒実験の条件

	試料水	紫外線処理条件	塩素添加処理条件		
			塩素添加の有無	塩素の接触時間(h)	塩素添加率(mgCl <sub>2</sub> /L)
条件1	Milli-Q水	低圧紫外線ランプ(照射量580, 1140, 1730), 中圧紫外線ランプ(照射量730, 1460, 2200)にてそれぞれ3段階照射	無し		
条件2	Milli-Q水		有り	0	0.4
条件3	Milli-Q水		有り	12	0.4
条件4	Milli-Q水		有り	24	0.4
条件5	水道水		無し		
条件6	水道水		有り	24	0.4
条件7	水道水		有り	24	1.0

硫酸ナトリウム水溶液を添加するまでの時間を塩素反応時間(反応時間)とし、暗所、4℃で0時間、12時間、24時間の3通り設定した。なお、Mitsubishiは、4℃から41℃の範囲でモノクロアミン添加に伴うNDMA生成能の違いを調査し、4℃においてNDMAの生成能が最も高かったことを報告している<sup>10)</sup>。塩素添加率は、実験に供した水道水試料の残留塩素濃度が遊離塩素濃度として0.43 mgCl<sub>2</sub>/L、全塩素濃度として0.45 mgCl<sub>2</sub>/Lであったことを参考に、表1の条件2, 3, 4, 6では0.4mgCl<sub>2</sub>/Lとなるよう設定し、条件7のみ1.0mgCl<sub>2</sub>/Lとなるよう設定した。

(3) 測定方法

a) NDMA濃度

紫外線照射および塩素処理を行った試料水中のNDMA濃度は、前処理後、UPLC-MS/MSを用いて測定した。前処理の手順は以下の通りである。まず、試料水500mLに1gの炭酸水素ナトリウムとNDMA-d6を5mgを添加した。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)に試料水を5mL/minで流した後カートリッジを窒素吹きつ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、溶出液を窒素吹きつけによって200μLまで濃縮、定容した。

試料の分析はAcquity UPLC/TQD(Waters)により行った。溶離液にはアセトニトリルと0.1%のギ酸を用いた。ESCH+モードでイオン化を行い、モニターイオンはNDMAの場合はParent ionが74.9(m/z)、Product ionが43.1(m/z)で、NDMA-d6の場合はそれぞれ81.0(m/z)、46.0(m/z)とした。この測定方法の検出限界は0.4ng/Lとした。Milli-Q水に100ng/Lの割合でNDMA添加した試料におけるNDMAの回収率は100~120%であり、その相対標準偏差4%(n=3)であった。また、d体の回収率は68.5~128%、相対標準偏差は24%(n=3)であった。

b) 残留塩素濃度

試料水中の遊離塩素濃度、全塩素濃度はHACH DR/890 Colorimeterにて測定した。

3. 実験結果

(1) Milli-Q水および水道水におけるNDMAの紫外線分解

初期濃度 100ng/L の NDMA 溶液に対して低圧および中圧紫外線ランプで紫外線照射した後の Milli-Q 水および水道水中の NDMA 濃度(表 1 の条件 1 と 5 の結果)を図 1 に示す。横軸に紫外線照射量、縦軸に NDMA 濃度を対数軸上で示す。紫外線照射量は、ヨウ化カリウム線

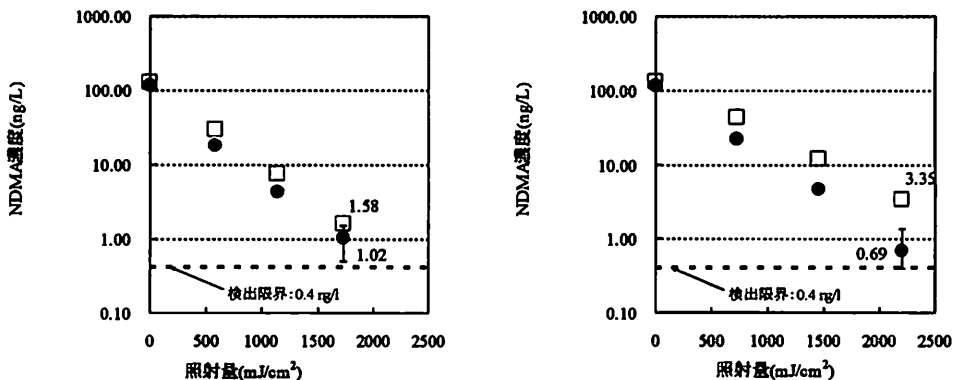


図1 紫外線照射によるMilli-Q水および水道水中の100ng/L-NDMAの濃度変化  
 左が低圧紫外線ランプ、右が中圧紫外線ランプの結果。●はMilli-Q水中、□が水道水中にて紫外線を照射した結果  
 Milli-Q水の結果(●)は独立した3回の実験の幾何平均値であり、エラーバーは最大値と最小値を示す。

表2 紫外線照射による分解速度係数の比較

紫外線ランプの種類	NDMA分解速度係数 (cm <sup>2</sup> /J)		
	本研究		既存の知見 <sup>12)</sup>
	Milli-Q水	水道水	
低圧紫外線ランプ (LP UV)	2.7	2.5	2.3
中圧紫外線ランプ (MP UV)	2.4	1.7	2.4

量計で測定した結果に照射時間(秒)を乗じて照射量 ( $\text{mJ}/\text{cm}^2$ )とした。NDMA 濃度は片対数グラフ上で直線的に減少した。

これらの実験結果から、低圧紫外線ランプを  $1730\text{mJ}/\text{cm}^2$  照射した場合あるいは中圧紫外線ランプを  $2200\text{mJ}/\text{cm}^2$  照射した場合には、Milli-Q 水および水道水中の NDMA 濃度は全て WHO のガイドライン値の 10 分の 1 値である  $10\text{ng}/\text{L}$  を下回る濃度まで低減できることが示された。図 1 に示した結果において、NDMA が直線的に減少していることから、紫外線による NDMA 分解を、NDMA 濃度の 1 次反応であると仮定した。NDMA 濃度の近似直線の傾きから、分解速度係数を算出し、既存の研究<sup>12)</sup>による初期濃度  $1\mu\text{M}$  の NDMA の紫外線分解結果を含めて表 2 に示した。Sharpless and Linden の NDMA の紫外線照射条件<sup>12)</sup>は、 $100\text{mL}$  の溶液に、低圧紫外線ランプ、中圧紫外線ランプともにランプから水面まで  $285\text{mm}$  であった。

Milli-Q 水中の NDMA を分解した場合の分解速度係数

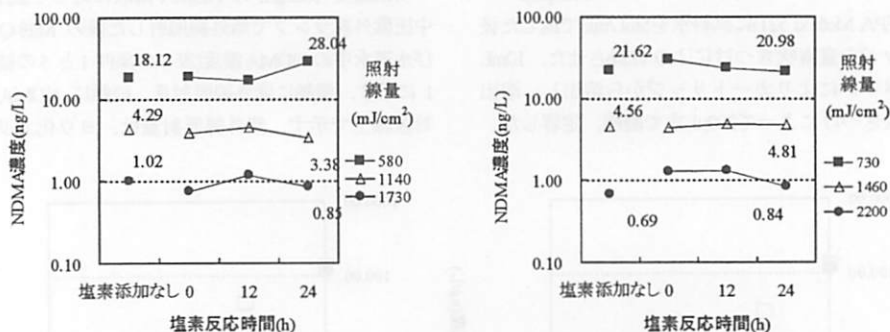


図 2 Milli-Q 水中にて分解した試料中の塩素添加後の NDMA 濃度変化 (左が低圧紫外線ランプ、右が中圧紫外線ランプ)

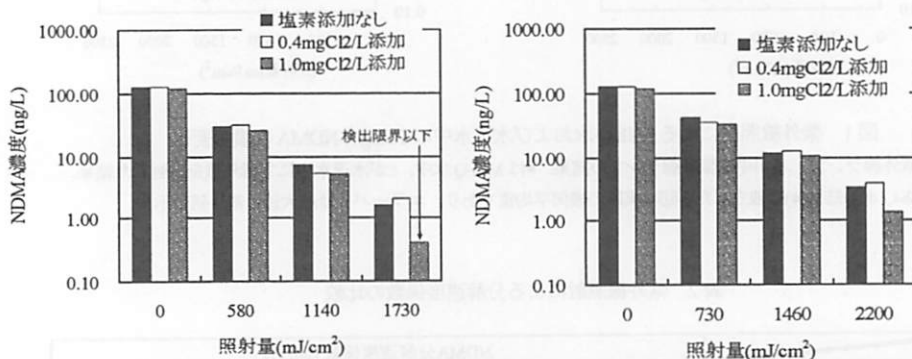


図 3 各 UV ランプ照射後の NDMA 濃度に及ぼす塩素添加率の影響 (左が低圧紫外線ランプ、右が中圧紫外線ランプ)

は、低圧ランプでは  $2.7\text{cm}^2/\text{l}$ 、中圧ランプでは  $2.4\text{cm}^2/\text{l}$  であり、既存の知見で得られた分解速度とほぼ同程度であった。

一方、水道水中で実験を行った場合には、Milli-Q 水中に比べて、低圧ランプで 10%程度、中圧ランプでは 30%程度分解速度が低下した。本研究の範囲内で、Milli-Q 水と水道水を比較した場合、特に中圧紫外線ランプ照射時には分解効率が低下することが明らかになった。この原因としては、水道水中の有機物などによる紫外線吸収率の違いや、紫外線照射条件や、試料の水深などの要因が考えられる。

## (2) 紫外線分解後の塩素添加における NDMA 再生成の評価

### a) Milli-Q 水中での再生成の評価

既存の知見<sup>13)</sup>から、NDMA は紫外線照射により DMA や、硝酸、亜硝酸などに分解され、それらは塩素消毒によって NDMA を再生成させることが懸念される。

そこで Milli-Q 水中に溶解した NDMA を紫外線により図

1のように100ng/Lから3段階の照射量で分解した後に塩素を添加し、一定時間反応させた後のNDMA濃度(表1の条件1から4の結果)を図2に示した。参考値として塩素添加をしていない系(条件1)の各照射条件におけるNDMA濃度も併せて示す。NDMA濃度は、1730mJ/cm<sup>2</sup>の低圧紫外線を照射して分解した後に塩素添加を行った直後では0.76ng/Lであり、12時間後では1.19ng/L、24時間後では0.85ng/Lであった。2200mJ/cm<sup>2</sup>の中圧紫外線を照射して分解した場合には、NDMA濃度は塩素添加直後、12時間後、24時間後ではそれぞれ1.28, 1.32, 0.84ng/Lであった。本実験で用いた紫外線ランプそれぞれでの最大照射線量の場合(低圧紫外線ランプ1730mJ/cm<sup>2</sup>、中圧紫外線ランプで2200mJ/cm<sup>2</sup>)遊離塩素添加24時間後のNDMA濃度変化は、最大でそれぞれ0.4ng/L以下および0.48ng/Lであった。よって、本研究で供した実験条件下では、Milli-Q水中においては、紫外線処理後に塩素を添加したことによるNDMAの顕著な再生成は少なくとも24時間後まで見られなかった。

#### b) 水道水中での再生成の評価

水道水中のNDMAを紫外線にて分解した後塩素添加を行った実験の結果(表1の条件5と6と7の結果)を、図3に示した。水道水を用いた実験では、塩素との接触時間は24時間に固定し、塩素添加率を0.4mgCl<sub>2</sub>/Lと1.0mgCl<sub>2</sub>/Lの2段階に設定した。NDMA濃度は、1730mJ/cm<sup>2</sup>の低圧紫外線照射後に0.4mgCl<sub>2</sub>/Lの塩素を添加し24時間経過した後では、2.09ng/Lであった。また、1730mJ/cm<sup>2</sup>の低圧紫外線照射後に1.0mgCl<sub>2</sub>/Lの塩素を添加し24時間経過した後では、検出限界値である0.4ng/L以下であった。2200mJ/cm<sup>2</sup>の中圧紫外線照射後に0.4mgCl<sub>2</sub>/Lの塩素を添加し24時間経過した後では、3.84ng/Lであった。また、2200mJ/cm<sup>2</sup>の中圧紫外線照射後に1.0mgCl<sub>2</sub>/Lの塩素を添加し24時間経過した後では、1.33ng/Lであった。すなわち、本研究で供した実験条件下では、水道水に初期濃度100ng/LのNDMAを添加して紫外線処理と塩素処理を行った後のNDMA濃度は塩素添加後24時間後にて最大3.84ng/Lであった。これは、WHOのガイドライン値の10分の1値である10ng/Lを下回る濃度であった。

#### c) 残留塩素濃度

紫外線照射後に塩素を添加し24時間放置後の残留塩素濃度は、Milli-Q水を用いた条件では、全ての試料において遊離塩素濃度が0.22mgCl<sub>2</sub>/L以上、全塩素濃度が0.25mgCl<sub>2</sub>/L以上となり、水道水質基準値である遊離塩素として0.1mgCl<sub>2</sub>/Lを満たした。水道水を用いた条件では、塩素添加率が0.40mgCl<sub>2</sub>/Lの試料では、遊離塩素濃度が

0.08mgCl<sub>2</sub>/Lとなる試料があった。塩素添加率が1.0mgCl<sub>2</sub>/Lの試料では、0.34mgCl<sub>2</sub>/L以上であり、水道水質基準値を満足した。

## 4. 考察

### (1) NDMAの紫外線分解

本研究では、初期濃度100ng/LのNDMA溶液に対して低圧および中圧紫外線ランプで紫外線を照射し分解を行った。Milli-Q水中での分解速度は、Sharpless and Linden<sup>2)</sup>による既存の知見と概ね同程度であった。Milli-Q水中では、低圧ランプと中圧ランプの分解速度はほぼ同程度あり、どちらのランプでも同等に処理できることが分かった。

Milli-Q水中でのNDMA分解速度に比べて、水道水中での分解速度は、特に中圧ランプを用いた場合に低下した。水道水中では、Milli-Q水中と比較して水中に紫外線を吸収する溶存物質が多く存在するために、このような結果となったと考えられる。また、低圧と中圧で差が出た理由としては、中圧ランプが出力する波長域の中に、低圧ランプが出力する単一波長(254nm)よりも、水道水中の溶存物質によって吸収されやすい波長があり、NDMAの分解効率が低下したためと考えられる。

本研究で行った紫外線照射は一般的に浄水工程で行われるものよりもはるかに照射量が大きかった<sup>9)</sup>ため、実際に浄水処理プロセスへ紫外線照射を導入しNDMA分解を行う際には、施設の規模やエネルギーコストの増大が懸念される。さらに、水中の有機物などの紫外線を吸収する物質が多く含まれる原水を処理対象とする場合はより大きな照射エネルギー量が必要となる。よって、NDMAの分解効率を高める照射方法や装置設計が今後の課題となる。

### (2) 紫外線処理後の塩素処理における再生成

本研究では、初期NDMA濃度100ng/Lに調整したMilli-Q水および水道水に対して低圧および中圧紫外線ランプで紫外線を照射し、さらに塩素を添加して、NDMA濃度を測定した。Milli-Q水での実験では、紫外線処理後に0.4mgCl<sub>2</sub>/Lの遊離塩素を添加し、塩素との接触時間が24時間までは、NDMAの再生成は見られなかった。水道水での実験では、塩素添加率0.4mgCl<sub>2</sub>/Lと1.0mgCl<sub>2</sub>/Lを比較した結果、塩素接触24時間まではいずれの条件でもNDMA濃度は3.84ng/L以下であった。一方、同じ紫外線照射量で塩素添加を行う前のNDMA濃度は、低圧紫外線ランプ、中圧紫外線ランプの順にそれぞれ1.58, 3.35ng/Lであり、塩素添加の有無によるNDMA濃度の顕

著な違いは見られなかった。本研究で用いた水道水以外についても更に検討が必要ではあるが、水道水中での0.4mgCl<sub>2</sub>/Lまたは1.0mgCl<sub>2</sub>/Lの塩素添加率と、24時間の塩素接触時間では、Milli-Q水、水道水ともにNDMAの再生成は起こらないと考えられた。

## 5. まとめ

(1) 初期NDMA濃度100ng/Lに調整したMilli-Q水および水道水に対し、低圧および中圧紫外線ランプをそれぞれ1730mJ/cm<sup>2</sup>、2200mJ/cm<sup>2</sup>照射した場合、NDMA濃度は3.4ng/L以下となり、WHOのガイドライン値の10分の1値、USEPAの10<sup>5</sup>の発ガンリスク値のいずれも下回った。

(2) 紫外線照射後に遊離塩素を0.4mgCl<sub>2</sub>/Lまたは

1.0mgCl<sub>2</sub>/Lの濃度で添加し接触時間を0、12、24時間とした場合、塩素添加率および塩素接触時間の違いによらず、いずれの条件でもNDMAの顕著な再生成は認められなかった。

(3) 初期NDMA濃度100ng/Lに調整した水道水中に中圧紫外線ランプを照射した場合、Milli-Q水を供した場合や低圧紫外線ランプを照射した場合に比べて、NDMA分解効率が著しく低下した。

## 謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金(21860018)および科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業(CREST)における研究課題「気候変動に適応した調和型都市圏水利用システムの開発」の支援を受けた。

## 参考文献

- 1) International Agency for Research on Cancer Web site <http://www.iarc.fr/> (2009/06/30 閲覧)
- 2) World Health Organization Web Site *N*-nitrosodimethylamine [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/ndmasummary\\_2ndadd1.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/ndmasummary_2ndadd1.pdf) (2009/06/30 閲覧)
- 3) U.S.Environmental protection Agency Web site <http://www.epa.gov/> (2009/07/07 閲覧)
- 4) 厚生労働省水道水質基準について <http://www.mhlw.go.jp/topics/tokyoku/senkou/suido/kijun/kijunchi.html> (2010/04/03 閲覧)
- 5) 内藤裕史, 横手規子. 化学物質毒性ハンドブック第1巻, 丸善株式会社, 1999.
- 6) 立石浩之, 北本靖子, 宮田雅典. 水環境における*N*-ニトロジメチルアミン(NDMA)の実態調査について, 日本水道協会関西地方支部第50回研究発表会概要集, pp.93-96, 2007.
- 7) Asami M., Oya K., Kosaka K. A nationwide survey of NDMA in raw and drinking water in Japan, *Science of Total Environment*, Vol.407, pp. 3540-3545, 2009.
- 8) 坂浩司, 浅見真理, 今野裕介, 利根川上・中流域における*N*-ニトロジメチルアミンとその前駆物質の実態調査, 環境工学研究論文集, Vol.46, pp.233-240, 2009.
- 9) Mantas E.P., Hawley E.L., Deeb R.A., Sedlak D.L. Formation of nitrosodimethylamine(NDMA) during chlorine disinfection of wastewater effluents prior to use in irrigation systems, *Water Research*, Vol.40, pp. 341-347, 2006.
- 10) 立石浩之, 北本靖子, 宮田雅典. *N*-ニトロジメチルアミンの水道水源での存在実態及び高度浄水処理過程における挙動水道協会雑誌895, 8-21, 2009.
- 11) 南岳宏, 大野浩一, 亀井翼, 眞柄泰基. 水質汚濁物質として

の*N*-ニトロジメチルアミンの活性炭・ナノろ過膜による処理性について, 衛生工学シンポジウム論文集, Vol. 12, pp.113-116, 2004.

- 12) Sharpless C.M., Linden K.G.: Experimental and model comparisons of low- and medium pressure Hg lamps for the direct and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> assisted UV photodegradation of *N*-nitrosodimethylamine in simulated drinking water, *Environmental Science and Technology*, Vol.37, pp.1933-1940, 2003.
- 13) Stefan M.L., Bolton J.R.: UV direct photolysis of *N*-nitrosodimethylamine (NDMA): kinetic and product study, *Helvetica Chimica Acta* Vol.85, pp. 1416-1426, 2002.
- 14) Mitch W. I., Sharp J. O., Tussell R. R., Valentine R. L., Alvarez-Chen L., Sedlak D. L.: *N*-Nitrosodimethylamine(NDMA) as a drinking water contaminant: a review, *Environmental Engineering Science* Vol.20 No. 5, pp. 389-404, 2003.
- 15) Choi I., Valentine R.L.: A kinetic model of *N*-nitrosodimethylamine (NDMA) formation during water chlorination/chloramination, *Water Science and Technology*, Vol.46(3), pp.65-71, 2002.
- 16) 東京都水道局HP <http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/index.html> (2010/08/06 閲覧)
- 17) Bolton J.R., Stefan M. L., Shaw P.S., Lykke K.R.: Determination of quantum yield of Ferric sulfate and KI/KIO<sub>3</sub> actinometer and a method for the calibration of radiometer detectors, 5th International Congress on Ultraviolet Technology, 2009.
- 18) Mitch W. A., Gerecke A. C., Sedlak D. L.: *N*-nitrosodimethylamine(NDMA) precursor analysis for chlorination of water and wastewater, *Water Research*, Vol. 37(15), pp.3733-3741
- 19) 浅見真理, 小林紀人, 町一希, 水道における紫外線処理に関する Q&A, 2008. [http://www.niph.go.jp/shohiki/suido/pdf/h19UVUV-QA-v1\\_3.pdf](http://www.niph.go.jp/shohiki/suido/pdf/h19UVUV-QA-v1_3.pdf) (2010/01/14 閲覧)

Photodegradation of *N*-nitrosodimethylamine(NDMA) and its reproduction by chlorination

Tatsuro TAKAMATSU<sup>1</sup>, Hiroshi SAKAI<sup>1</sup>, Kumiko OGUMA<sup>1</sup>, Michio MURAKAMI<sup>2</sup>,  
Koji KOSAKA<sup>3</sup>, Mari ASAMI<sup>3</sup>, Satoshi TAKIZAWA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Urban Engineering, The University of Tokyo, JAPAN

<sup>2</sup> "Wisdom of Water"(Suntory) Corporate Sponsored Research Program  
Organization for Interdisciplinary Research Projects, The University of Tokyo

<sup>3</sup> Department of Water Supply Engineering, National Institute of Public Health

*N*-nitrosodimethylamine(NDMA) is a suspected human carcinogen and was added to the list of drinking water quality parameters for further study. In this research, the photodegradation of NDMA by UV irradiation was investigated by adding 100ng/L NDMA into Milli-Q water and tap water. NDMA was degraded to less than 10ng/L by both low-pressure and medium pressure UV tubes. Photodegradation rates in Milli-Q water could be expressed by the first-order degradation rate was slightly lowered in tap water. NDMA could be reproduced by the addition of chlorine after the UV irradiation, which may negate the degradation efficiency of UV irradiation. However, for both Milli-Q water and tap water, no NDMA reproduction by chlorine after UV irradiation was observed in this study.