Ames 変異原性試験による信濃川下流域の 水道原水および水道水の安全性評価

小松 俊哉, 三田 美紀, 姫野 修司, 藤田 昌一

長岡技術科学大学環境・建設系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

[平成15年 8 月13日受理]

Safety Evaluation of River Water and Tap Water in the Shinano River Downstream Region by Ames Mutagenicity Assay

Toshiya KOMATSU, Miki SANDA, Shuji HIMENO and Shoichi FUJITA

Department of Civil and Environmental Engineering,
Nagaoka University of Technology
(1603-1 Kamitomiokamachi, Nagaoka, Niigata 940-2188)

[Received August 13, 2003]

Summary

In order to reduce the mutagenicity of tap water, it is important to investigate the level of mutagenic precursor contained in the tap water source. The Mutagen Formation Potential (MFP) on chlorination is the index of the content of the precursor in water. We measured the MFP of Shinano River downstream water which is used as a tap water source at many points, to evaluate the environmental safety. The measurement was conducted at 6 points from January 2002 to December 2002, monthly by Ames assay using *S. typhimurium* strain TA100 without S9 mix. The MFP values tended to be higher in winter than in other seasons. On the other hand, only a slight difference was observed among the annual means of the 6 points. The means of MFP at each point ranged from 600 to 1,000 net rev./ℓ and it was suggested that the mutagenic risk level of Shinano River water was relatively low. We also measured the mutagenicity of 6 tap water samples in the region. Annual means of mutagenicity for each tap water sample ranged from 500 to 990 net rev./ℓ. The values tended to be higher in winter, as was the case with the MFP values.

Key words: Ames assay, mutagen formation potential, river water, tap water, safety evaluation

1. はじめに

信濃川は全流域面積11,900km² (全国第3位), 総延長367km (全国第1位) のわが国屈指の大河川である。千曲川として長野県内の74市町村を流れた後, 新潟県に入り57市町村を流れて日本海に注ぎ, その流域人口は約330万人に及ぶ。

信濃川の表流水は多くの地点で水道原水として用いられているが, 生活排水, 工場廃水など各種の排水の放流先ともなっているため, 信濃川を水源とする水道水に種々の微量有害物質が含まれていることが推測される。微量有害物質汚染の総括的な安全性評価にはバイオアッセイ法が有効であり, 遺伝子毒性の観点から変異原性を評価する代表的な試験法である Ames 変異原性試験が広

く用いられている。Ames 変異原性試験を実施した1990年の調査では、信濃川を原水とする水道水においても変異原性を示すことが報告された¹⁾。また、1993年の調査では、信濃川の最下流域にあたる新潟市での水道水の変異原性は全国的にみてやや高いレベルにあったことが示されている²⁾。このため、信濃川水系の水道水における変異原性の低減化が必要と考えられる。

水道水が変異原性を示す理由としては、水道原水となる河川水などの変異原性は非常に低いことから^{1,3-5)}、水系感染症防止および有害物質の無害化等のために行う塩素処理により、水道原水中に含まれる変異原前駆物質(自然由来の有機物、人間活動由来の有機物の両方が含まれる^{6,7)})から変異原性物質が副生成することが主要な原因である²⁾。したがって、水道水の変異原性レベルは、浄水工程だけでなく水道原水の水質にも大きく支配されるため、変異原性の低減を図る上で水道原水中にどの程度変異原前駆物質が含まれているのかを評価することが重要である。その変異原前駆物質の指標として、塩素を添加した水試料の変異原性を測定する、変異原性生成能(Mutagen Formation Potential: MFP)が提案されている^{8,9)}。

本研究では、Ames 変異原性試験により信濃川下流域(信濃川から分かれ再び合流する中之口川を含む)における水道水の変異原性強度を把握すること、MFPによって水道原水の安全性評価を行うこと、さらにMFPと水道水の変異原性の関連をみることを目的とした。同時に、季節や地点による影響について統計的手法も含めて解析し、さらに水道原水のMFPについては他の水質項目との相関性もみた。

2. 実験方法

2. 1 試料水と採水地点

試料水として、信濃川下流域に位置する各浄水場から給水される6公共施設の水道水、ならびに水道原水として各浄水場付近の河川表流水6サンプルを用いた。採水地点をFig.1に示す。2002年の1年間、毎月1回、計12回を、好天が続き水質が安定したと考えられる平日の昼間に、5ℓのポリタンクにより採水した。これらの試料水については、水道水の場合はろ過を行わずに測定に用いたが、水道原水の場合は1μm Glass Fiberにて吸引ろ過を行ったサンプルを測定に用いた。なお、直ちに測定できない場合には5℃に冷蔵保存した。

2. 2 水質の測定

水道原水のMFPと水質項目との相関等を見るため、水道原水については、水温、pH、水中有機物の総合的指標であるTOC、河川の人間活動による汚染指標としてのアンモニア性窒素、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素を測定

した。測定機器については、水温、pHはpH METER HM-14P (TOA Electronics Ltd.)、TOCはTOC ANALYZER TOC-500 (SHIMADZU)、アンモニア性窒素、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素についてはPortable Datalogging Spectrophotometer DR/2010 (HACH COMPANY)を用いた。

2. 3 MFP 測定のための水道原水の塩素処理

水道原水中のSSは浄水プロセスにおいて塩素注入前に除去されると考えられるので、河川水を1μm Glass Fiberにて吸引ろ過を行った後に塩素処理を行った。塩素処理の方法は、既報⁹⁾に準じて以下の通りとした。pHを7±0.2に調整した後、約5,000mgCl/ℓの次亜塩素酸ナトリウム水溶液を用いて、下式より求めた量の塩素A (mgCl)をよく攪拌しながら添加し、20℃の恒温器で24±2時間静置した。ここで、Vは試料水の量(ℓ)である。ただし、既報⁹⁾においては、TOCが4 mg-C/ℓ以上の場合には試料の希釈を行っているが、本研究では水道原水としての比較を目的としているため希釈は行わなかった。

$$[\text{NH}_4 - \text{N}] < 0.2 \text{ mg/ℓ} \rightarrow A = V \times [\text{TOC}] \times 3.5$$

$$[\text{NH}_4 - \text{N}] \geq 0.2 \text{ mg/ℓ} \rightarrow A = V \times \{ [\text{TOC}] \times 3.5 + ([\text{NH}_4 - \text{N}] - 0.2) \times 9 \}$$

- A. Myouken (Nagaoka city)
- B. Bunsui town
- C. Tsubame city
- D. Togashira (Shirone city)
- E. Kosudo town
- F. Toyano (Niigata city)

Fig. 1 Sampling points in the Shinano River downstream region

2. 4 変異原性物質の濃縮方法

水道水や水道原水に含まれる変異原性物質は微量であるため、濃縮して試験を行う必要がある。濃縮には吸着脱離法を採用し、固相カラムの充填剤として、揮発性物質も含めた幅広い疎水性の変異原性物質を吸着できるため広く変異原性試験に使用されている CSP-800^{2,4,8,9)}、または PS-2¹⁰⁾ (いずれも Waters) を用いた。なお、2002 年 5 月までは CSP-800 を用いたが、6 月からは PS-2 に変更した。

これらの充填剤の違いによる影響を検討した結果、濃縮・回収した試料の変異原性強度は全く同等の結果であった。また、CSP-800、PS-2 ともに、繰り返し使用してもほぼ同レベルの強度を示したことから、本研究では同一固相カラムを 2 回使用した。なお、CSP-800 については、洗浄・コンディショニングを再度行うことにより、3 回程度繰り返し使用できることが確認されている¹⁰⁾。

濃縮処理は、既報¹⁰⁾に準じて以下の通り行った。pH = 2 に調整した試料水 2 ℓ を、濃縮ポンプ (Waters) を用いて、予めコンディショニングを行った固相カラムに毎分 50 ml の速度で通水して変異原性物質を吸着させた。次に、吸着物質の回収には、溶媒であるジメチルスルホキシド (DMSO) を、毎分 0.15 ml の速度でメタロールポンプ (日興エンジニアリング) を用いて送液した。CSP-800 または PS-2 カラムから最初は水が流出するが、滴下液面の変化で DMSO が流出し始めたことが確認されてからネジ口瓶に DMSO 溶液 2 ml を採取して (濃縮倍率 1000 倍)、Ames 変異原性試験用の試料とした。

2. 5 Ames 変異原性試験

Ames 変異原性試験方法は旧労働省が発行したガイドブック¹²⁾に準じて行った。代表的な変異株である *Salmonella typhimurium* TA98 株 (フレームシフト型変異原性物質を検出) および TA100 株 (塩基置換型変異原性物質を検出) を用い、37℃、20 分間ブレインキューベーション法により行い、TA98 ± S9 および TA100 ± S9 の 4 条件について検討した。

1 検体につき DMSO に溶解した試料は 25, 50, 100 μℓ / plate の 3 段階 (2 プレートずつ) に分注した。菌体の活性を確認するために、検体の添加量と同量の DMSO のみを添加した 4 枚のプレートを用いた陰性対照試験と、- S9 の場合には 4- ニトロキノリン-1- オキシド、+ S9 の場合には 2- アミノアントラセンを用いて 2 枚のプレートを用いた陽性対照試験を毎回行った。

各実験での復帰コロニー数を計数した結果から、試料水換算の検液添加量と復帰コロニー数との用量-作用関係を描き、回帰直線の勾配を最小二乗法で求め、濃縮前の試料 1 ℓ に換算した正味の復帰コロニー数 (net rev./ℓ)

として変異原性の強度を表示した²⁾。なお、毎回の陰性対照試験および陽性対照試験の結果は安定していた。

また、MR 値、すなわち最大量を添加した試料の回帰直線における復帰コロニー数を陰性対照試験での復帰コロニー数 (自然復帰コロニー数) で割った値によっても分類した。MR 値が 1.4 未満で変異原性が認められない (陰性) と判断し¹³⁾、1.4 以上 2.0 未満を擬陽性、2.0 以上を陽性とした。検出限界値は MR 値が 1.4 に相当する正味の復帰コロニー数とし、検出限界未満の結果が得られた場合は、変異原性ならびに MFP を検出限界値の 2 分の 1 として解析した。

3. 結果および考察

3. 1 試料水の変異原性の特徴

水道水、水道原水ともに、初めは TA98 ± S9 および TA100 ± S9 の 4 条件について検討した。しかし、いずれの場合も、TA98 ± S9、TA100 + S9 条件における正味の復帰コロニー数は、TA100 - S9 の値よりも全て低く、平均値も 4 分の 1 以下であったことから、以後 TA100 - S9 条件のみで試験を行うこととした。TA100 - S9 条件の寄与率が最も高いという結果は、水道水の変異原性^{2,5,14)}、河川水の MFP^{5,6)}、また水道水源に含まれる可能性がある排水の MFP¹⁵⁾ と一致し、塩素処理の際に副生成する変異原性に共通した特徴と考えられる。

変異原性試験における試料水換算の検液添加量と復帰コロニー数との関係の例を Fig. 2 に示す (TA100 - S9, 3 月の D 地点)。この例を含め、いずれも 0.1 ℓ に相当する用量までにおいて良好な直線関係が得られ、また致死作用を示したサンプルはなかった。

Fig. 2 An example of dose-response line (TA100 - S9, Point D, March)

3. 2 水道水

3. 2. 1 水道水の変異原性強度

2002年の1年間のTA100-S9条件で行った水道水の変異原性試験の結果を Table 1, Fig. 3 に示す。なお、Table 1 では平均値をとる際に、N.D. は検出限界値の2分の1として計算し、Fig. 3 ではその値を表示した。

変異原性は1月から3月においてほぼ全地点で陽性を示した (Table 1)。また、5月から9月にはN.D. が比較

的多くみられた。冬期・春期に高い傾向は、全国各地の水道水で確認された一般的な傾向²⁾と一致している。1年間の月別の平均値は400~1,700net rev./ℓであり、遺伝子に対する障害のリスクが約4.3倍異なる。また、地点別の年平均値は500~990 net rev./ℓとなり、平均値の差は月別よりは小さかった。

Fig. 3 からは、最上流部のA地点は他の地点と比べて低めであること、また、すべての地点で棒グラフはU字

Table 1 Mutagenicity of tap water (net rev./ℓ)

* N.D. data were assumed to be the half value of the detection limit.

Point	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Mean*
A	1,050	520	670	N.D.	N.D.	680	N.D.	N.D.	-	540	480	580	500
B	1,750	-	1,180	570	480	490	740	560	620	780	970	490	790
C	1,410	690	1,300	910	N.D.	640	N.D.	570	N.D.	N.D.	N.D.	800	620
D	2,230	1,430	1,710	1,220	620	500	N.D.	690	440	770	870	1,180	990
E	1,810	1,170	1,560	1,180	610	N.D.	1,070	690	870	970	860	710	980
F	1,690	1,260	1,670	1,610	N.D.	560	540	N.D.	N.D.	910	670	660	860
Mean*	1,700	1,000	1,300	950	400	520	530	510	470	700	680	740	
N.D.	< 470	< 430	< 420	< 420	< 460	< 460	< 540	< 540	< 410	< 410	< 390	< 490

Fig. 3 The map showing mutagenicity of tap water

* N.D. data were plotted at the half value of the detection limit.

型を描いたことから季節変動があることが読み取れる。

3. 2. 2 季節・地点変動

季節および採水地点における特徴や傾向を示すために、ノンパラメトリック検定の統計処理である Mann-Whitney 検定を行った¹⁰⁾。その結果、変異原性の季節変動については、1月、3月を除く全ての月よりも、また3月は、5～12月の期間よりも変異原性が統計的に有意に高い ($p < 0.05$) ことなどが明らかとなった。一方、地点変動については、季節変動ほどの差はなかったものの、下流部に位置する D, E 地点が最上流部の A 地点よりも統計的に有意に高かった ($p < 0.05$)。

3. 2. 3 水道水の安全性評価

現在、水道水には変異原性に対する基準値が定められていない。そこで、発がんリスクと関連させた評価により安全性評価を行った。WHO が、できる限り対策を施した方がよいとしている生涯発がんリスクレベル 10^{-5} は、種々の仮定を行った結果、3,000net rev./ℓ程度に相当する可能性が示唆されている²⁾。Table 1 より、年平均値は500～990net rev./ℓであり、さらに最大でも2,230net rev./ℓであったことから、発がんリスクと関連させた評価でのリスクレベルは低いと判断される。しかし、1月から4月（冬期・春期）の月平均値は950～1,700net rev./ℓと変異原性は高めであることから、この時期の特に下流地点については、水道水の変異原性に留意する必要があると考えられる。

次に、浦野らが1993年に行った水道水の変異原性調査²⁾と比較する。調査結果によると、信濃川を水源とする新潟市水道水の変異原性強度は1,900～3,600net rev./ℓ、平均2,600net rev./ℓであり、一方、今回2002年の新潟市の水道水（F 地点）の調査では年平均値が860net rev./ℓであったことから、変異原性は低下したと推測できる。この間に浄水工程の大きな変更はないこと、また浄水場付近の河川水の BOD 値が減少している（BOD の75%値

が平成4年度：2.0mg/ℓ、平成13年度：1.1mg/ℓ¹⁷⁾）ことから、下水道の整備等によって、人間活動に由来する変異原前駆物質が減少したことも一因として推測される。また、国内都市部の水道水の変異原性は平均1,500～2,000net rev./ℓ程度であることから²⁾、信濃川を原水とする現在の水道水の年平均値は全国的にみて低いレベルにあることがわかった。

3. 3 水道原水

3. 3. 1 水道原水の MFP

水道原水の TA100-S9条件での MFP の試験結果を Table 2, Fig. 4 に示す。N.D. の取扱い、表示は水道水の場合と同様である。

MFP は1月においてはほぼ全地点で陽性を示した (Table 2)。また、地点 E, F では全ての月で陽性もしくは擬陽性であった。2月から7月までは下流ほど変異原性が高くなる傾向がみられた。1年間の月別の平均値が380～2,400net rev./ℓであり、遺伝子に対する障害のリスクが約6.3倍異なる。また、地点別の年平均値は600～1,000net rev./ℓとなり、水道水と同様に差は小さかった。Fig. 4 からは、全ての地点で1月において高いこと、また9～12月も高めであることが読み取れる。

3. 3. 2 季節・地点変動

MFP に関しても Mann-Whitney 検定を行った。変異原性の季節変動については、1月は他の全ての月よりも統計的に有意に高く ($p < 0.05$)、一方、7月は多くの月（合計で7ヶ月）よりも統計的に有意に低いこと ($p < 0.05$) などが明らかとなった。これは、冬期に高く、夏期に低いという傾向を示す岡山県の吉井川水系¹⁸⁾や淀川水系¹⁹⁾の報告と一致した。さらに、年平均値を、ほぼ同一の試験方法で測定した吉井川の MFP と比較すると、吉井川の MFP は年平均約1,100～1,400net rev./ℓ程度 (1995年)¹⁸⁾であったので、信濃川下流域の方が低かった。

Table 2 Mutagen formation potential (MFP) of the Shinano River water (net rev./ℓ)

*N.D. data were assumed to be the half value of the detection limit.

Point	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Mean*
A	3,050	470	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	590	720	750	720	700	670
B	1,250	760	670	N.D.	430	N.D.	N.D.	520	550	-	710	1,020	600
C	3,290	750	990	N.D.	640	N.D.	490	670	620	680	520	680	810
D	-	520	760	400	680	380	N.D.	450	1,110	680	580	830	600
E	2,000	780	640	730	440	850	520	580	1,490	630	820	1,130	880
F	2,280	820	1,280	1,060	790	960	600	510	810	910	900	1,280	1,000
Mean*	2,400	680	760	460	530	480	380	550	880	730	710	940	
N.D.	< 570	< 450	< 440	< 380	< 390	< 440	< 440	< 390	< 450	< 380	< 390	< 410	

N.D.
1.4 ≤ MR < 2.0
2.0 ≤ MR
-

Negative (MR < 1.4)
False Positive
Positive
No data

Fig. 4 The map showing MFP of the Shinano River water

* N.D. data were plotted at the half value of the detection limit.

一方、地点変動については、季節変動ほどの大きな差はなかったものの、最下流地点である地点 F の方がその他の地点よりも統計的に有意に高く ($p < 0.05$)、流下に伴う MFP の増加傾向が認められた。

3. 3. 3 水道原水の安全性評価

MFP の年平均値 $600 \sim 1,000 \text{ net rev./}\ell$ は、水道水の変異原性の年平均値 $500 \sim 990 \text{ net rev./}\ell$ と同レベルであったことから、水道原水の安全性評価にも発がんリスクと関連させた評価を用いた。年平均値の $600 \sim 1,000 \text{ net rev./}\ell$ は、 $3,000 \text{ net rev./}\ell$ を一つの判断基準とするとリスクレベルは低いと言える。しかし、1 月は地点 A, C において $3,000 \text{ net rev./}\ell$ 以上を示し、平均値も $2,400 \text{ net rev./}\ell$ であった。一方、他の月では、最大でも $1,490 \text{ net rev./}\ell$ であった。また、月別の平均値も考慮すると、冬期、特に 1 月については水道原水にも留意する必要があると考えられる。

3. 3. 4 水質項目との相関

TOC、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素＋硝酸性窒素と MFP との相関をそれぞれ Fig. 5, 6, 7 に示す。なお、TOC、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素＋硝酸性窒素の全測定値の平均は、それぞれ $2.35 \text{ mg-C/}\ell$ 、 $0.07 \text{ mg-N/}\ell$ 、 $1.38 \text{ mg-N/}\ell$ であり、本研究で用いた信濃川の河川水は全体として人的汚染をさほど受けていないと言える。

Fig. 5 ～ Fig. 7 より、各水質項目と MFP との相関係数は、それぞれ 0.19 、 0.31 、 -0.13 といずれも小さく、今回測定した水質値から MFP のレベルを推算することはできないことがわかる。しかし、MFP と高い相関性を持つ他の水質指標が存在する可能性もあり、今後検討する必要がある。

3. 4 水道水の変異原性と水道原水の MFP との相関

水道水の変異原性と水道原水の MFP との相関を Fig. 8 に示す。両者の相関係数は 0.47 と必ずしも高くないが、正の相関関係がみられることがわかる ($n = 68$, $r = 0.47$, $p < 0.01$)。相関係数が高くない理由として、今回は水滞留時間を考慮したサンプリングを行わなかったことや、各浄水場において塩素の添加位置が異なること(前塩素、中塩素、または前・中・後塩素の併用)、しかも季節により添加位置を変える浄水場も存在することなどが考えられる。なお、高度浄水処理を導入している浄水場は現在のところない。

Fig. 8 からは水道水の変異原性と水道原水の MFP のどちらか一方が N.D. であれば、他方が $1,000 \text{ net rev./}\ell$ を超えることがないことも読み取れる。このことから水道水の変異原性レベルが水道原水に大きく影響を受けることが確認された。以上から、浄水工程に高度処理の導入

Fig. 5 Relationship between TOC and MFP (N.D. data were plotted at the half value of the detection limit.)

○ : MFP N.D.
● : MR of MFP ≥ 1.4

Fig. 7 Relationship between $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ and MFP (N.D. data were plotted at the half value of the detection limit.)

○ : MFP N.D.
● : MR of MFP ≥ 1.4

Fig. 6 Relationship between $\text{NH}_4\text{-N}$ and MFP (N.D. data were plotted at the half value of the detection limit.)

○ : MFP N.D.
● : MR of MFP ≥ 1.4

Fig. 8 Relationship between mutagenicity and MFP (N.D. data were plotted at the half value of the detection limit.)

○ : Either mutagenicity or MFP N.D.
● : MR of both mutagenicity and MFP ≥ 1.4

を検討する際に水道原水のMFPデータを判断基準として活用できるなど、水道水の変異原性の低減を図る上でMFPが水道原水の有用な水質評価指標になる可能性が示された。今後は、MFPと水道水の変異原性との関連を実際の浄水プロセスを考慮して検討していく必要があり、現在研究を進めている。

謝 辞

水試料のサンプリング許可をいただいた各浄水場の関

係者に深く感謝いたします。

要 約

信濃川下流域における6箇所の浄水場の水道水と各浄水場付近の河川水(水道原水)を用いて、2002年の1年間、毎月1回TA100-S9条件でAmes変異原性試験を実施した。水道水の変異原性の年平均値は500~990net rev./ℓであり、新潟市では1993年よりも低下していた。年平均値のリスクレベルは、発がんリスクと関連させた

評価からは低いと判断された。しかし、冬期は高めであり、この時期の特に下流地点については留意する必要があると考えられた。

水道原水については変異原性生成能(MFP)を測定した。MFPの年平均値は600~1,000net rev./ℓであり、水道水と同様に冬期に高い傾向を示した。水道水の変異原性と水道原水のMFPには正の相関が見られたことから、水道水の変異原性の低減を図る上でMFPが水道原水の有用な水質評価指標になる可能性が示唆された。

文 献

- 1) 田中一浩, 守田康彦, 高橋敬雄: 新潟県内の水道水・河川水の変異原性について, 水環境学会誌, **16**, 657-665 (1993)
- 2) 浦野紘平, 高梨啓和, 岡部文枝, 藤江幸一: 水道水のAmes変異原性に関する研究 第3報 日本の水道水の変異原性レベルの解析, 水環境学会誌, **18**, 1001-1011 (1995)
- 3) 松本 寛, 芥川智子, 酒井茂克, 有末二郎, 中嶋敏秋: 環境質の健康影響評価指標に関する研究, 北海道環境科学研究センター所報, **25**, 76-77 (1998)
- 4) 田中伸久, 矢島久美子, 樋口洋一郎: 群馬県における河川の変異原性, 群馬県環境研年報, **30**, 131-136 (1998)
- 5) 信川貴子, 讃岐田訓: 消毒処理水の副生成物についての変異原性による水質評価, 環境技術, **28**, 579-585 (1999)
- 6) 鶴崎 実: 吉井川水系(塩素処理水)のサルモネラ菌による変異原性調査, 生物学に関する試験研究論叢, **12**, 15-22 (1997)
- 7) 信川貴子, 市原真紀子, 讃岐田訓: 変異原性およびTHM生成能を指標にした淀川水系の水質環境評価, 水環境学会誌, **24**, 168-174 (2001)
- 8) Takanashi, H, Urano, K., Hirata, M., Hano, T. and Ohgaki, S: Method for measuring mutagen formation potential (MFP) on chlorination as a new water quality index, *Water Research*, **35**, 1627-1634 (2001)
- 9) 高梨啓和, 浦野紘平, 大垣眞一郎: 排水の塩素処理における変異原性物質生成能の解析, 水環境学会誌, **23**, 352-359 (2000)
- 10) 石井誠治, 浦野紘平, 亀屋隆志: 多孔質ポリスチレン樹脂カートリッジによる水中微量有機化合物の濃縮条件の一般化, 水環境学会誌, **23**, 85-92 (2000)
- 11) 浦野紘平, 高梨啓和, 五十嵐勲: 水試料のAmes変異原性試験マニュアル(I), 用水と廃水, **39**, 342-349 (1997)
- 12) 労働省化学物質調査課編: 安衛法における変異原性試験, 中央労働災害防止協会 (1991)
- 13) 高梨啓和, 藤江幸一, 浦野紘平: 水試料のAmes変異原性試験試験結果の統計的解析と評価, pp764-765, 第28回日本水環境学会年会 (1994)
- 14) 森 康明, 節田節子, 後藤純雄, 小野寺祐夫, 松下秀鶴: 水道水における変異原性の特徴, 環境化学, **5**, 677-681 (1995)
- 15) 山根陽一, 神子直之, 浦野紘平: 塩素処理された排水の変異原性, pp256, 第30回日本水環境学会年会 (1996)
- 16) 柳井久江: 4 steps エクセル統計, 星雲社 (2001)
- 17) 新潟県編, 公共用水域及び地下水の水質測定結果(各年度版)