



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	豊平川におけるヒ素流出負荷量の定量評価
Author(s)	辰巳, 健一; 橘, 治国
Description	第12回衛生工学シンポジウム (平成16年11月4日 (木) -5日 (金) 北海道大学クラーク会館) . 一般セッション . 2 水環境 . 2-3
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 12, 65-68
Issue Date	2004-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/1231
Type	departmental bulletin paper
File Information	2-3_p65-68.pdf



各地点のSS濃度，濁度と懸濁態ヒ素濃度の関係をそれぞれ $A_{SP} = SS^m$ ， $A_{SP} = Tb^n$ 式で整理して図2及び表1に示した。検討にあたっては，2001年の降雨時調査，2002年の融雪期，降雨時調査で濁りの著しい試料（SSが $100\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以上と仮定）を対象とした。

T-9における懸濁態ヒ素濃度は，濁度，SSに対して変動が大きく不均質であることがわかる。一方，T-7，3は，それぞれSS濃度の1.29乗（ $R^2=0.95$ ），1.08乗（ $R^2=0.98$ ），濁度の1.24乗（ $R^2=0.92$ ），1.08乗（ $R^2=0.93$ ）に比例し，特にT-3では1に近い値を示すことから懸濁態ヒ素が懸濁物質中に均質に含まれることが分かる。以上からT-3は，濁度と懸濁態ヒ素濃度の関係式から懸濁態ヒ素濃度を求めることが可能である。

3.1.2 塩化物イオンによる溶存態ヒ素濃度の推定

各地点の塩化物イオン濃度と溶存態ヒ素濃度の関係を図3に示した。定山溪温泉は，温泉湧出水中に塩化物イオンを平均値で約 $1600\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ と多量に含んでおり³⁾，下流のT-3においても平均値で約 $23\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ と比較的高濃度となっている。塩化物イオン濃度と溶存態ヒ素濃度の相関性は各地点で非常に高く，塩化物イオン濃度と溶存態ヒ素濃度の関係式から溶存態ヒ素濃度を求めることが可能である。

3.2 ヒ素流出負荷量の定量評価

3.2.1 ヒ素流出負荷量の推定法

T-3におけるヒ素濃度，ヒ素流出負荷量を懸濁態ヒ素と溶存態ヒ素に分けてそれぞれ以下のように算出する。

ある時刻tでの全ヒ素流出負荷量は，ヒ素濃度に流量を乗じて求めた懸濁態ヒ素及び溶存態流出負荷量の和として（1）式で求める。

$$\begin{aligned} \text{全ヒ素流出負荷量} : L_{AsT} &= L_{AsP} + L_{AsF} = C_{AsP}(t)Q(t) + C_{AsF}(t)Q(t) \\ &= \alpha_{AsP} C_{Tb}^\beta(t)Q(t) + \alpha_{AsF} C_{Cl}(t)Q(t) \quad (1) \end{aligned}$$

ここに， L_{AsP} ：懸濁態ヒ素流出負荷量（ $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$ ）， L_{AsF} ：溶存態ヒ素流出負荷量（ $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$ ）， L_{AsT} ：全ヒ素流出負荷量（ $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$ ）， C_{AsP} ：懸濁態ヒ素濃度（ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ）， C_{AsF} ：溶存態ヒ素濃度（ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ）， C_{Tb} ：濁度， C_{Cl} ：塩化物イオン濃度（ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ）， Q ：流量（ $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ）， α_{AsP} ， α_{AsF} ， β ：定数である。

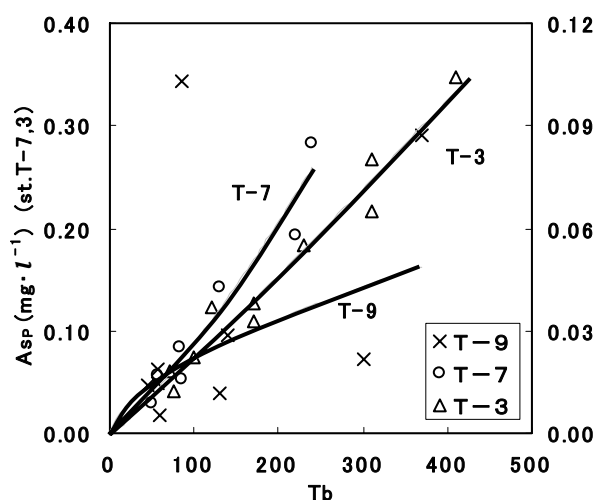


図2 濁度と懸濁態ヒ素濃度の関係

表1 SS及び濁度と懸濁態ヒ素濃度の関係(右)
($A_{SP}=SS^m$, $A_{SP}=Tb^n$, m, n : 定数)

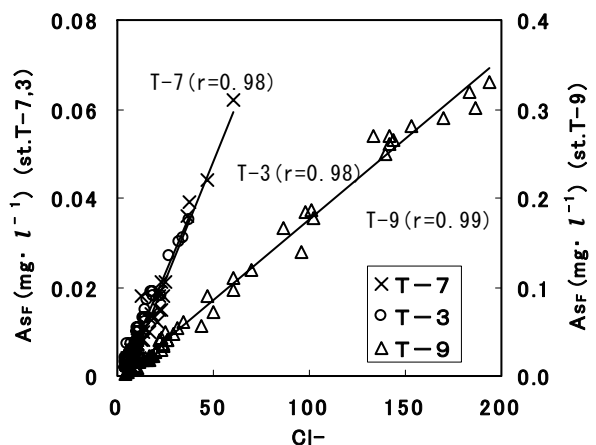


図3 塩化物イオンと溶存態ヒ素濃度の関係

	試料数	m,n	r^2
SS- A_{SP}	T-9	9	0.78
	T-7	7	1.29
	T-3	10	1.08
Tb- A_{SP}	T-9	9	0.62
	T-7	7	1.24
	T-3	10	1.08

3.2.2 年間ヒ素流出負荷量の定量評価

近年3ヵ年の年間ヒ素流出負荷量を表2に、1例として2002年のヒ素流出負荷量の推定結果と実測に基づく計算結果を図4に示す。

2002年の全ヒ素流出負荷量は、低水時に平均 $19.8\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$ であったのに対して、降雨出水時には最大 $327.9\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$ 、融雪出水時には最大 $774.8\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$ と極めて多量のヒ素流出が認められた。特に4～5月の融雪出水時における全ヒ素流出負荷量は、 $3,607\text{kg}$ と見積もられ、年間総流出負荷量 $10,763\text{kg}$ の約34%を占め、降雨時も含めると出水時で約43%を占めた。形態別では、懸濁態ヒ素、溶存態ヒ素が全ヒ素のそれぞれ約27、73%を占め、懸濁態ヒ素は融雪、降雨出水時で年間の約91%が流出していた。

溶存態ヒ素の低水時の平均流出負荷量は $19.5\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$ であるのに対して、融雪及び秋季出水時の平均流出負荷量はそれぞれ約 $33.3\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$ 、 $25.5\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$ と高い値を示す。出水時は河川水位の上昇に伴って温泉湧出水量が増大するものと考えられる⁴⁾。

3.3 底泥沈積量の推定とその洗い出しへの影響

3.3.1 ヒ素発生負荷量の推定

温泉水由来のヒ素発生負荷量を見積もるためには、総温泉湧出水量が必要である。河床等からの湧出による温泉湧出水量は、前述のとおり河川水位が上昇する融雪期に増大することが指摘されており同報告によると $(9,500\text{l}\cdot\text{min}^{-1} (0.158\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}))$ (平均値)とされている⁴⁾。

温泉水由来のヒ素発生負荷量は、定山溪温泉の湧出水量 $(9,500\text{l}\cdot\text{min}^{-1})$ 、温泉湧出水のヒ素平均濃度 $(3.1\text{mg}\cdot\text{l}^{-1})$ ¹⁰⁾に温泉としての未利用率60% (旅館等で使用される温泉水 (利用率40%) は下水処理されるため負荷量として除外する) を乗じることで $9,287\text{kg}\cdot\text{year}^{-1}$ となる。

また定山溪下水処理場からの発生負荷量は、放流量 $(4.31\times 10^6\text{m}^3\cdot\text{year}^{-1})$ 及び排水中のヒ素濃度 (大半が溶存態 $(0.083\text{mg}\cdot\text{l}^{-1})$ として存在する) から $358\text{kg}\cdot\text{year}^{-1}$ となる。流域での総ヒ素発生負荷量は、温泉水由来と定山溪下水処理場からの発生負荷量を合わせた $9,645\text{kg}\cdot\text{year}^{-1}$ と見積もることが出来る。

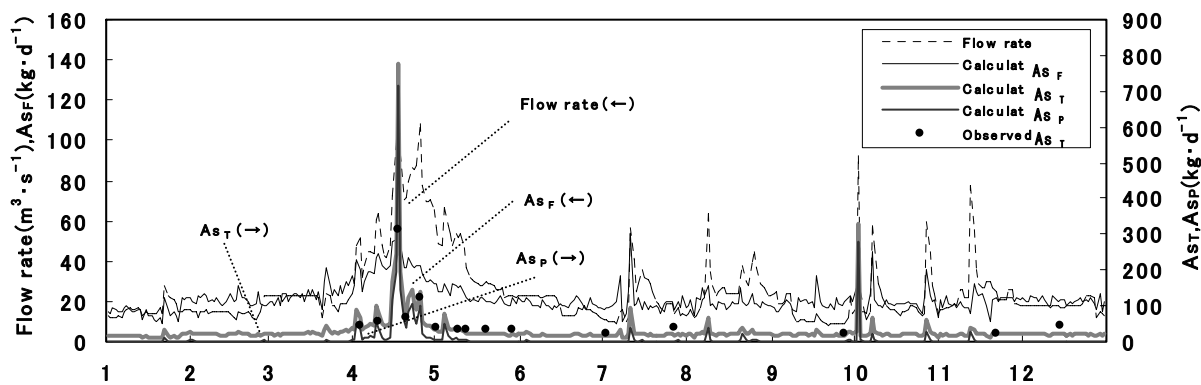


図4 ヒ素流出負荷量の推定結果 (2002年)

3.3.2 底泥沈積量の評価

ヒ素発生負荷量とT-3におけるヒ素流出負荷量の比較結果を図5に示す。ヒ素流出負荷量は、全年でヒ素発生負荷量より大きい値を示す。これは後背地からの地質由来のものが含まれること、また温泉由来のヒ素発生負荷量が季節変動を考慮していない分だけ過少評価されたことが影響したためと考えられる。

T-3における溶存態ヒ素流出負荷量 (平均値) は $7,884\text{kg}\cdot\text{year}^{-1}$ で、発生負荷量と比べ $1,761\text{kg}\cdot\text{year}^{-1}$ (約20%) 少ない。この減少分は流域の河川・ダム湖の底泥に移行したもの

と考えられる。そして底泥へ沈積したヒ素は懸濁態として再流出する。懸濁態ヒ素の流出は流況によって左右されるため、流況が平年的な年である2001年の懸濁態ヒ素流出負荷量 $4,314\text{kg}\cdot\text{year}^{-1}$ と比較した場合、懸濁態ヒ素流出負荷量の内、約40%が温泉由来の溶存態ヒ素が寄与していると推察できる。

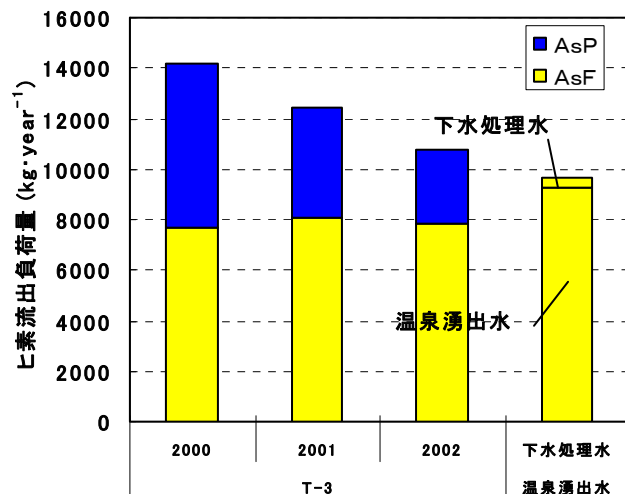


図5 ヒ素流出負荷量と発生負荷量の比較

4 結論

著者らは、豊平川におけるヒ素流出負荷量を、懸濁態と溶存態の流出形態別に区分して算出し、平水時、融雪出水時及び降雨出水時など流況に応じた流出負荷特性の差異について検討した。

2002年の全ヒ素流出負荷量は $10,763\text{kg}\cdot\text{year}^{-1}$ と見積もられ、このうち融雪、降雨出水時がそれぞれ $3,607\text{kg}\cdot\text{year}^{-1}$ (33.5%)、 $1,048\text{kg}\cdot\text{year}^{-1}$ (9.8%) で計 $4,655\text{kg}\cdot\text{year}^{-1}$ (43.3%) を占めること、

溶存態ヒ素流出負荷量は、温泉湧出水量が増える融雪、秋季出水時に増大すること、懸濁態ヒ素流出負荷量は流況に依存し、大半が出水時に流出することが明らかとなった。

また、概算ではあるが流域レベルでの負荷量収支から、温泉湧出水及び下水処理水として豊平川へ供給されたヒ素は、河川流下過程において少なくとも約2割が懸濁化して沈積すること、出水時に流出する懸濁態ヒ素のうち約4割が直接的な温泉起源であることが明らかとなった。

今後はヒ素の化学形態も含めた流下過程やダム貯留による質変化機構（底質への移行、再溶出などのメカニズム）を解明し、出水時を考慮した上水道の取水管理や生態系への影響も含めた総合的な水質・流域管理のあり方について検討したい。

参 考 文 献

- 1) 辰巳健一，中埜渡丈嘉，成田隆広，眞柄泰基，橘治国(2002)豊平川における砒素化合物の動態，水環境学会誌，**25**(5)，289-296
- 2) 辰巳健一，中埜渡丈嘉，成田隆広，神和夫，眞柄泰基，橘治国(2002)豊平川におけるヒ素の降雨時流出特性，環境工学研究論文，**39**，257-266
- 3) 佐藤裕子，大野浩一，亀井翼，眞柄泰基(2002)豊平川におけるヒ素及びホウ素の挙動と水道水質管理への影響，水道協会雑誌，**71**(4)，22-30
- 4) 新エネルギー産業技術総合開発機構(2000)第3次定山溪汚染保全調査報告書

表2 近年3カ年の年間ヒ素流出負荷量

年	区分	単位	As _T	As _F	As _P
2000 (総流量: 932×10^6 $\text{m}^3 \cdot \text{year}^{-1}$)	低水時 ^{**}	kg	5,768	5,219	549
		%	40.7	36.8	3.9
	融雪出水時 ^{***}	kg	6,760	1,895	4,865
		%	47.7	13.4	34.3
	降雨時 ^{***}	kg	1,663	603	1,060
		%	11.6	4.2	7.4
	全期間	kg·year ⁻¹	14,191	7,717	6,474
	%	100.0	54.4	45.6	
2001 (総流量: 814×10^6 $\text{m}^3 \cdot \text{year}^{-1}$)	低水時 ^{**}	kg	5,622	5,247	375
		%	45.3	42.3	3.0
	融雪出水時 ^{***}	kg	3,730	2,415	1,315
		%	30.1	19.5	10.6
	降雨時 ^{***}	kg	3,050	426	2,624
		%	24.6	3.4	21.2
	全期間	kg·year ⁻¹	12,402	8,088	4,314
	%	100.0	65.2	34.8	
2002 (総流量: 791×10^6 $\text{m}^3 \cdot \text{year}^{-1}$)	低水時 ^{**}	kg	6,108	5,843	265
		%	56.7	54.3	2.4
	融雪出水時 ^{***}	kg	3,607	1,467	2,140
		%	33.5	13.6	19.9
	降雨時 ^{***}	kg	1,048	536	512
		%	9.8	5.0	4.8
	全期間	kg·year ⁻¹	10,763	7,846	2,917
	%	100.0	72.9	27.1	

^{*}「低水時」とは、日平均流量が $30\text{m}^3/\text{s}$ 未満の場合の合計値を示す。

^{**}「融雪出水時」とは、日平均流量が $30\text{m}^3/\text{s}$ 以上の場合の合計値を示す。

^{***}「降雨出水時」とは、日平均流量が $30\text{m}^3/\text{s}$ 以上の場合の合計値を示す。