

渓流水のトリハロメタン生成能

永淵義孝^{*1}，松尾 宏^{*1}，佐々木重行^{*2}

福岡県内の県営林内から流出する渓流水のトリハロメタン生成能について検討した。調査流域の W 1，W 4 及び E 4 におけるトリハロメタン生成能の平均値は，それぞれ 0.019，0.022，0.023 mg/L であった。トリハロメタン生成能は季節変動がみられた。トリハロメタン生成能と不飽和結合を有する有機物の指標となる紫外線吸光度 (E_{260}) との間には正の相関があった。W 1 及び E 4 におけるトリハロメタン生成能の年間流出負荷量は，220 340 g/ha であった。

〔キーワード：渓流水，トリハロメタン生成能，トリハロメタン生成能流出負荷〕

1 はじめに

トリハロメタン (THM) の生成に関与する有機物は，点源とされる家庭¹⁾や工場・事業場^{1), 2)}，下水³⁾及びし尿処理場^{1), 4)}あるいは面源とされる森林¹⁾，田畑¹⁾，路面堆積物³⁾等の流出水さらに水中のある種の藻類^{5), 6)}に由来している。

水道の水質基準項目において THM の基準値は0.1 mg/L となっており，水道水源域ではこの水質基準を超過しないような水道原水水質保全対策が求められている。点源ではその発生源が明確に把握できるため，平成 6 年 3 月に「特定水道利水障害防止のための水道水源水域の水質保全に関する特別措置法」が公布され，指定地域内では一定規模以上の事業場については，排水のトリハロメタン生成能 (試水がある条件下で

塩素処理したときに生成する THM 濃度のことである。以後は THMFP と略する。) の規制が行われることとなった。

面源では発生源が明確でなかったり，その把握に困難さを伴うことが多い。特に森林に係るデータの収集・蓄積が十分ではなく，THMFP 負荷量等の見積もりが立てにくいのが現状である。このため，THMFP のバックグラウンドと考えられる森林域からのデータを収集・蓄積することは，水質保全対策を考慮するうえで重要と考えられる。

ここでは，福岡県内のスギ・ヒノキを主とする人工林から流出する渓流水を対象に約 3 年間にわたって水質調査を行い，森林域由来の有機物に起因する THMFP のレベルや流出負荷量を検討した。

2 調査方法

2.1 調査流域とその概要

福岡県内の県営林内にある W 1，W 4 及び E 4 を調査流域とした (図 1)。その流域の概要を表 1 に示す。

表1 調査流域の概要

流域名	流域面積 (ha)	複層林面積 (ha)	採水地点標高 (m)
W-1	15.3	7.2	420
W-4	23.3	11.9	460
E-4	21.8	0	380

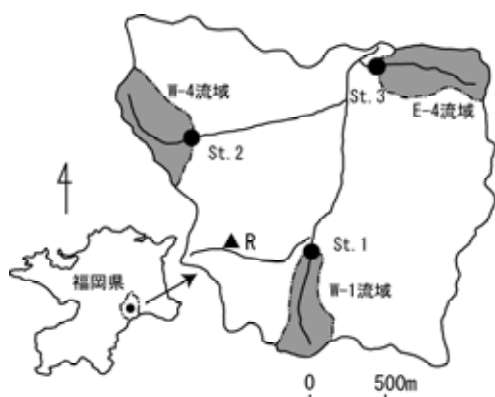


図1 調査流域と試料採取地点

○：試料採取地点，▲：降水採取地点

*1 福岡県保健環境研究所 (〒818 0135 福岡県太宰府市大字向佐野39)

*2 福岡県森林林業技術センター (〒839 0827 福岡県久留米市山本町豊田1438 2)

調査流域はスギとヒノキを主とした人工林からなり、W 1 では、複層林（下木の林齢は 15 年，上木は 45 60 年）が流域面積のほぼ半分である 7.2 ha を、また、W 4 では、複層林（下木の林齢は 15 年，上木は 35 45 年）が流域面積の半分である 11.9 ha を占めている。一方、E 4 は、W 1 及び W 4 とは異なり、単層林（林齢は 20 30 年）である。また、調査流域の基岩は全て結晶片岩である⁷⁾。

2・2 調査期間

1998 年 4 月 2000 年 12 月

2・3 採水方法

図 1 に示す各流域の流末にある量水ダム（水位計が設置されている）の St. 1，St. 2 及び St. 3 において、原則として毎月末の降雨時を除く流況が安定したときに渓流水を採水した。月末に採水できない場合には、翌月のできるだけ早い時期に行った。降水については、図 1 に示す樹冠の影響がない地点 R において、デポジット法により 30 cm ロートを用いて 20 L のポリタンクに貯留した。

2・4 調査水質項目の測定方法

2・4・1 THMFP

THMFP の測定方法は、「THM に関する対策について」の総 THMFP 試験方法⁸⁾に準じた。すなわち、試水に相当量の次亜塩素酸ナトリウム溶液を添加して塩素処理（pH 7.0，20，24 時間）し、その結果、残留塩素量が 1 2 mg/L となるものについて、THM をヘッドスペース GC/MS法で測定した。

2・4・2 その他の水質項目の測定方法

pH，電気伝導率（EC），浮遊物質（SS），生物化学的酸素消費量（BOD），化学的酸素消費量（COD），全有機炭素（TOC）の測定については工場排水試験法

⁹⁾に準拠した。紫外線吸光度は、試水を 0.45 μm のメンブランフィルターでろ過したる液について、5 cm セルを用いて吸光度（波長 260 nm）を測定した。

2・5 流量及び流出負荷量等の算定方法

流量については自記水位計の水位から計算により求めた。また、年間ヘクタール（ha）あたりの THMFP の流出負荷量の計算は次のようにして行った。すなわち、採水日毎の THMFP（C g/m³）と流量（Q m³/日）とを乗じて THMFP 負荷量（L g/日）を算出した。次に、L と Q との関係の散布図を作成し、この散布図から L Q の回帰式を求めた。この L Q 回帰式に日毎の流量を代入して日毎の THMFP 負荷量を算出した。日毎の負荷量を合計して月の負荷量とし、さらに、月毎の値を合計して年間の総流出負荷量とした。年間総負荷量を流域面積で除して年間 ha あたりの値を算出した。

3 結果及び考察

3・1 渓流水の水質

1998 年 4 月 2000 年 3 月の W 1，W 4 及び E 4 において調査した水質項目の平均値及び標準偏差を表 2 に、また、有機物の指標とされる TOC 及び E₂₆₀ の推移を図 2 に示す。

表 2 から明らかなように、BOD の平均値は、河川の環境基準 AA 類型（1 mg/L）をいずれも下回っており、その水質は非常に良好であった。次に、有機物の指標とされる TOC 及び E₂₆₀ をみると、前者については流域間で差はみられなかった。一方、後者では平均 0.050 0.077 であり、流域間で差がみられた。さらに、TOC 及び E₂₆₀ の推移（図 2）をみると夏季に高く、冬季に低くなる傾向にあった。

表2 各水質項目の平均値，標準偏差，最大値及び最小値

流域名		pH	EC (mS/m)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	E ₂₆₀
W-1	平均値	7.5	7.2	2	0.5	1.1	1.0	0.050
	標準偏差	0.2	1.3	1	<0.5	<0.5	0.1	0.016
	最大値	7.8	8.7	5	0.9	1.9	1.2	0.093
	最小値	7.1	4.8	<1	<0.5	<0.5	0.8	0.027
W-4	平均値	7.5	5.9	6	<0.5	2.0	0.9	0.056
	標準偏差	0.1	0.9	7	<0.5	1.0	0.2	0.019
	最大値	7.7	7.6	32	0.7	4.6	1.3	0.098
	最小値	7.1	4.3	<1	<0.5	0.7	0.6	0.034
E-4	平均値	7.4	7.2	3	0.7	1.6	1.0	0.077
	標準偏差	0.1	1.0	2	<0.5	0.7	2.0	0.026
	最大値	7.7	8.7	8	1.7	3.0	1.3	0.141
	最小値	7.2	5.2	<1	<0.5	0.7	0.7	0.048

注) pH, EC, SS, TOC, E₂₆₀, T-NおよびT-PIはn=23, BODおよびCODはn=12, E₂₆₀は5cmのセルを使用

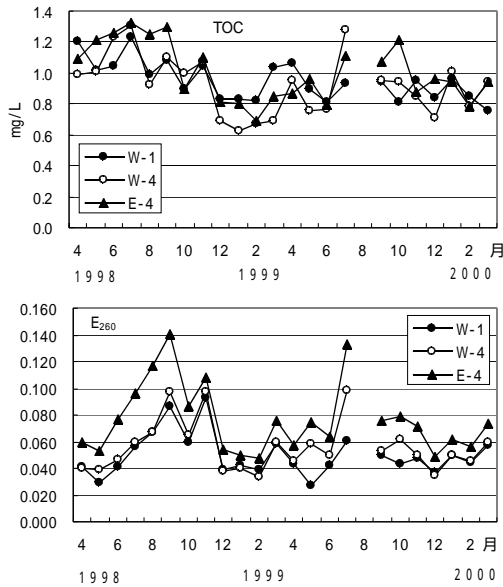


図2 TOC 及び E₂₆₀の推移

3・2 THMFP

3・2・1 降水のTHMFP

1999年4月～2000年3月における降水のTHMFPの推移を図3に示す。降水のTHMFPは0.005～0.013 mg/Lで推移しており、後述する(3・2・2項における)渓流水の推移(同時期)と比較すると低値であった。なお、季節変動等については1年間だけのデータのため明らかでなく、これについては今後の課題である。

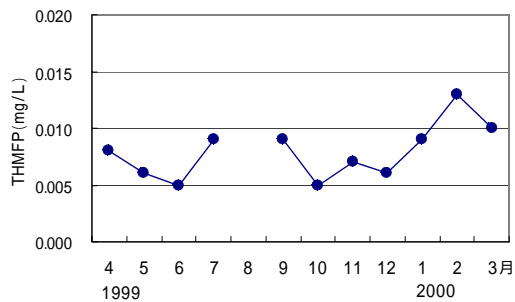


図3 降水のTHMFPの推移

次に、これらのデータを用いて降水のTHMFP(降水重み付け平均値)を求めた。すなわち、その時の降水量と濃度を乗じて降水量中に存在する物質質量を出し、その総和を総降水量で除して値を算出したところ、0.007 mg/Lが得られた。この値は、浦野ら³⁾が報告した値(0.022 mg/L)と比較すると三分の一程度であり、かなり低かった。この数値の違いについては、浦野らの調査が横浜市という都市域の降水を対象としていたのに対して、当該調査では、山間部の降水を対

象としており、調査対象地域の違いが数値に大きく反映しているものと推察される。

3・2・2 渓流水のTHMFP

W-1、W-4及びE-4のTHMFPを表3に示す。

表3 各流域のTHMFP

	W-1	W-4	E-4
平均値 (n=23)	0.019	0.022	0.023
標準偏差	0.005	0.008	0.009
最大値	0.026	0.036	0.036
最小値	0.011	0.008	0.010

注) 単位: mg/L

W-1、W-4及びE-4におけるTHMFPの平均値は、それぞれ0.019、0.022及び0.023 mg/Lであり、単層林と複層林との違いによる差はみられなかった。また、3流域のTHMFPは0.019～0.023 mg/L、平均値0.021 mg/Lであった。過去の調査事例では河川最上流域の人為活動の影響が全くない河川水のTHMFPは0.003～0.006 mg/Lと報告されている¹⁾。報告値と今回の数値を比べると、今回の調査では一桁高い数値が得られた。

今回の調査結果は2年間にわたる継続調査に基づいて得られたものであり、人為活動の影響がほとんどないスギ・ヒノキの人工林域からの自然由来の有機物に起因するTHMFPの平均的なレベルを表しているものと推測される。また、この値は、人為活動等に由来する有機物に起因するTHMFPを評価するうえでのバックグラウンド値として利用できると考えられる。

次に、流域別におけるTHMFPの推移(図4)をみると、各流域とも、THMFPは夏季に高く、冬季に低くなっており、季節変動のあることが分かった。

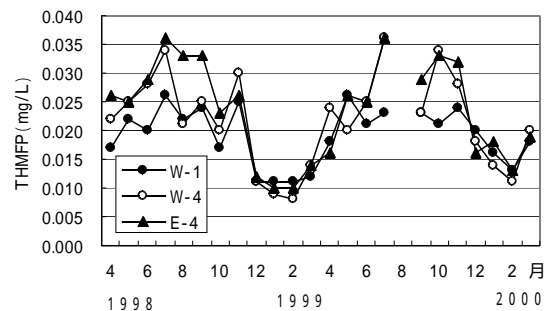


図4 渓流水のTHMFPの推移

一方、生物では分解されにくくそして不飽和結合を有する THMFP に関連する有機物（生物難分解性有機物）の指標となる E_{260} の季節変動は、前述したように THMFP と同様に夏季に高く冬季に低くなる傾向にあった（図2）。 E_{260} の季節変動については、金子¹⁰⁾も同様に夏季に高く冬季に低くなる傾向にあることを指摘し、その理由として、夏季に渓流水中における粗大有機物（森林流域から流出するもので落葉や落枝が大半を占める）の分解が進行するためと考えられると報告している。

次に、THMFP とその他の項目（水温、 E_{260} 、TOC）との関係を検討したところ、表4に示す結果が得られ、THMFP とその他の項目との間にはいずれも 1% の危険率で有意な相関があることが分かった。

これらのことから、流域に存在している有機物の分解が夏季に盛んに行われ、その結果、夏季には THMFP に関連する生物難分解性有機物が冬季に比べて多量に渓流水中に存在していると推察される。

表4 THMFP と他の項目との関係

	THMFP	水温	E_{260}	TOC
THMFP	1.000			
水温	0.743*	1.000		
E_{260}	0.603*	0.450*	1.000	
TOC	0.711*	0.630*	0.540*	1.000

注) n=69 (1998年4月-2000年3月のデータ)

*は1%で有意

3.3 降水量、流出量及び流出率

W-1 及び E-4 における1999-2000年の降水量、流出量及び流出率を表5に示す。

表5 降水量、流出量及び流出率

流域名	年	降水量 (mm)	流出量 (mm)	流出率 (%)
W-1	1999	2609	1625	62.3
	2000	2016	1119	55.5
E-4	1999	2172		
	2000	1846	1069	57.9

当該流域の平均降水量は、約 2350 mm である¹¹⁾。平均降水量と比較して、1999年の降水量は、W-1で多雨傾向にあり、また、2000年の降水量は、両流域とも少雨傾向にあった。次に、W-1 及び E-4 の流出率を求めた。表5から明らかなように両流域のそれは55.5-62.3% にあり、降水量の約 6割前

後が流出することが分かった。なお、1999年のE-4と1999年及び2000年のW-4については、水位計の不具合で流出量に欠測等が生じたため、流出率は算出できなかった。

3.4 渓流水の流出負荷量

1999年1月-2000年3月のTHMFPと日流量のデータから2.5項に示す方法により、W-1及びE-4における日流量(Q)とTHMFP負荷量(L)との関係を示す回帰式($L = aQ^b$)を求めた。その結果を表6に示す。

表6 THMFP の回帰式の定数と相関係数

流域名	n	$L = a \times Q^b$		
		a	b	r
W-1	14	0.0112	1.0827	0.964
E-4	12	0.0046	1.2569	0.989

注) n: データ数, L: g/日, Q: m³/日, r: 相関係数

W-1 及び E-4 における L と Q との間には t 検定の結果から、1% の危険率で有意に相関のあることが分かった。

この L-Q 式に 1999 年 1 月から 2000 年 12 月の日流量を代入して月別の負荷量を算出した。月別の THMFP 流出負荷量の変化を図5に示す。

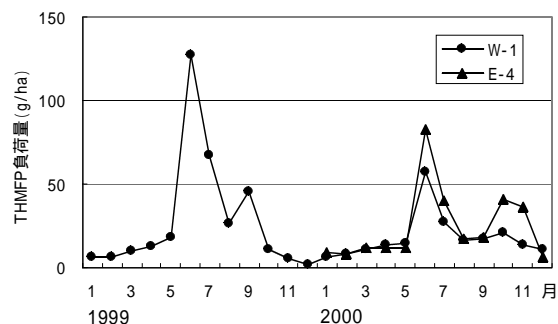


図5 月別の THMFP 流出負荷量の変化

図5から明らかなように、渓流水の月別 THMFP 流出負荷量は、1999年及び2000年とも6月が最大となった。

次に、月別の負荷量を合計して年間の総流出負荷量とし、年間の総負荷量を流域面積で除して年間 ha あたりの流出負荷量を試算した。年間 ha あたりの流出負荷量を表7に示す。

なお、1999年のE-4と1999年及び2000年のW-4については、水位計の不具合で流出量に欠測

等が生じたため、流出負荷量は算出できなかった。

表 7 から明らかなように、THMFP の年間流出量は、1999 年の W 1 で 340 g/ha、また、2000 年の W 1 及び E 4 でそれぞれ 220 及び 290 g/ha であり、ほぼ近似した数値が得られた。しかし、これらの数値の精度を高めるには、更なるデータの収集・蓄積が必要であると考えられる。

表7 THMFP の流出負荷量 (g/ha・年)

流域名	THMFP (g/ha・年)	
	1999年	2000年
W-1	340	220
E-4		290

4 まとめ

スギ・ヒノキの人工林を主とする森林域から流出する渓流水を対象に約 3 年間にわたって THMFP 等に係る水質調査を行ったところ、以下のことが明らかとなった。

- 1) W 1, W 4 及び E 4 における渓流水の THMFP 平均値は、それぞれ 0.019, 0.022 及び 0.023 mg/L であり、調査流域間での差はみられなかった。
- 2) 渓流水の THMFP は、最大で 0.036 mg/L を示した。
- 3) 調査流域における降水の THMFP 平均値 (降水重み付け) は、0.007 mg/L であった。
- 4) 渓流水の THMFP は夏季に高く、冬季に低くなっており、季節変動がみられた。
- 5) 渓流水のトリハロメタン生成能と不飽和結合を有する有機物の指標となる紫外線吸光度 (E_{260}) との間には正の相関があった。
- 6) 渓流水の月別 THMFP 流出負荷量は、1999 年及び 2000 年とも 6 月が最大となった。
- 7) 調査年 (1999 年及び 2000 年) での W 1 及び E 4 における THMFP の年間流出負荷量は、220 340 g/ha であった。

文献

- 1) 合田健ら：昭和 57 年度環境保全研究成果集 () 12 1 12 18, 1983.
- 2) 永淵義孝ら：用水と廃水, 31 (6), 524-530, 1989.
- 3) 浦野紘平ら：水道協会雑誌, 56 (8), 37-47, 1983.
- 4) 相沢貴子ら：水質汚濁研究, 5 (5), 277-285, 1982.
- 5) 福島博ら：水質汚濁研究, 4 (5), 229-235, 1981.
- 6) 稲森悠平ら：水環境学会誌, 19 (11), 885-890, 1996.
- 7) 佐々木重行ら：福岡県林業試験場時報, 第38号, 1991.
- 8) 厚生省環境衛生局：水道環境部長通知 (環水第46号), 1981.
- 9) 日本規格協会：JIS K 0102 工場排水試験方法, 東京, 1993.
- 10) 金子真司：湖沼での有機物の動態解析手法の開発に関する研究, 農林水産省農林水産技術会事務局, 2000.
- 11) 竹下敬司ら：福岡県林業試験場時報, 第18号, 1966.

Trihalomethane formation potentials in stream waters from forested mountains

Yoshitaka NAGAFUCHI ^{*1}, Hiroshi MATSUO ^{*1} and Shigeyuki SASAKI ^{*2}

**1 Fukuoka Institute Health and Environmental Sciences*

Mukaizano 39, Dazaifu, Fukuoka 818 0135, Japan

**2 Fukuoka Forest Research and Technology Center*

Yamamoto machi 1438 2, Kurume, Fukuoka 839 0827, Japan

An investigation on water quality was conducted using stream waters from three basins (W 1, W 4 and E 4) on a forested mountain. Water quality and runoff loads of trihalomethane formation potential (THMFP) were estimated. THMFP in W 1, W 4 and E 4 were 0.019, 0.022 and 0.023 mg/L, respectively. It was observed that THMFP in stream waters from 3 basins varied with the seasons. There was a positive correlation between THMFP and ultraviolet absorbance at 260 nm (E_{260}) as an indicator of organic matter containing an unsaturated bond. The annual runoff loads of THMFP were estimated in the range of 220–340 g/ha in two basins (W 1 and E 4).

[Key words : Stream waters, Trihalomethane formation potential, Runoff loads]