

東京大学工学系研究科 ○田嶋 淳

同上 大垣 眞一郎

1. 背景・目的

近年、エネルギー利用効率化を目的として、水道施設を用いた熱輸送をおこなう構想が浮上している。これは、都市部で大量に排出されている未利用エネルギーを利用して水道水を加温し、地域冷暖房に利用したり、温水を直接、地域や各家庭に供給するものである。この熱輸送をおこなうにあたっては、水温上昇による水道水の水質変化を把握する必要がある。そこで、水道水中の残留塩素濃度、及びトリハロメタン(THM)が水温上昇によってどのように変化するかについて研究を行うことにした。

2. 実験方法

実際の水道水をサンプルとして、実験室にて塩素を注入し、実際の浄水における残留塩素濃度およびTHM生成量経時変化の温度依存性を把握することを目的とした。

(1) 浄水実験

後塩素処理を施す前の浄水をサンプルとして、以下の条件で実験をおこなった。

- 1) 測定温度…10, 20, 30, 50℃の4段階
- 2) 測定時間…塩素注入から1, 3, 6, 12, 24時間後
- 3) 塩素注入率…約1.5ppm
- 4) 測定項目…THM, E260, pH, 残留塩素濃度

(2) 給水実験

給水栓からの水道水をサンプルとして、以下の条件で実験をおこなった。

- 1) 測定温度…20, 50℃の2段階
- 2) 測定時間…塩素注入から24時間後
- 3) 塩素注入率…約2.0ppm
- 4) 測定項目…THM, E260, TOC

なお、実験はバイアル瓶を用いておこなった。

3. サンプル

(1) 浄水実験

サンプルは以下の3浄水場（東京近郊）のものを使用した。

・F浄水場 ・K浄水場 ・O浄水場

(2) 給水実験

サンプルは都区内15ヶ所の給水栓からの水道水を使用した。

4. 結果・考察

(1) 浄水実験

1) 残留塩素濃度減少特性

残留塩素濃度は一次反応式 $-\ln(c/c_0) = k_1 t$ …(1)

(ただしc; 残留塩素濃度 c_0 ; 初期残留塩素濃度

k_1 ; 残留塩素濃度減少速度係数(1/hr))に従って減少するとされている。図1はK浄水場浄水における残留塩素濃度の経時変化を各温度について示したものであるが、おおむね(1)式に従って減少することが確かめられた。他の2サンプルについ

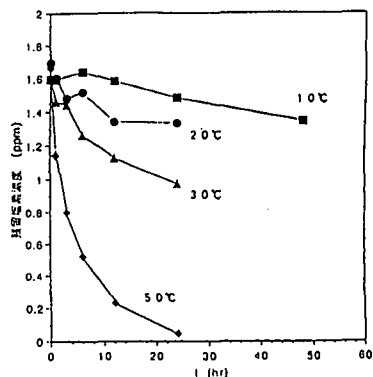


図1 残留塩素濃度の経時変化 (K浄水場)

でも同様のことが確かめられた。

また、一般的に反応速度の温度依存性はArrhenius式
 $k_1 = A \exp(-E/(RT_a)) \dots (2)$ (ただし、E; 反応活性化エネルギー Ta; 絶対温度 (K)) に従うとされているが、残留塩素濃度減少速度についてこれを確認したのが図2である。それぞれのサンプルについて、 $-\ln k_1$ が $1/T_a$ の一次式で表されることから、残留塩素濃度減少速度の温度依存性はArrhenius式に従うことが確かめられた。

2) THM生成特性

図3はK浄水場浄水における総トリハロメタン (以下TTHMとする) の経時変化を各温度について示したものである。また、図中の曲線は実験値をもとに次式

$[TTHM] = A(1 - \exp(-k_2 t)) + B \dots (3)$ (ただし、A; 実験室で塩素注入後生成する最大TTHM生成量 B; 反応開始直前のTTHM生成量 k_2 ; TTHM生成速度係数 (1/hr)) で解析したものである。図からわかるようにTTHMはおおむね最大生成量をもつ一次反応式 (3式) に従って増加することがわかった。他の2サンプルについても、TTHMは (3式) に従って増加することが確かめられた。なお、THM 4種それぞれについても同様のことが確かめられた。

また、今回の結果からは、TTHM生成速度係数 k_2 の温度依存性がArrhenius式に従っているかどうかははっきりしなかった。

(2) 給水実験

図4は浄水実験および給水実験で得られたデータを基にして、E260と24時間後のTTHM生成量 (以下TTHM24とする) の関係を、各温度について示したものである。10℃、30℃についてはデータ量が少ないため、信頼性には欠けるもののE260とTTHM24の間には正の相関があるものと考えられる。図5はTTHM24/E260と水温の関係を示したものであるが、TTHM24/E260は水温の一〜二次式で表されることが推定される (CHCl3 24/E260と水温の関係についても同様の傾向が見られた)。しかし、この裏付けには更なるデータが必要となるう。

(3) 水質基準から見た水温上昇による安全性について

水道水の加温対象区域を滞留時間24時間以内の区域と仮定して、残留塩素濃度およびTHMについて、水温上昇による安全性の考察をおこなった。

1) 残留塩素濃度

図2から得られた結果を基にして、水温上昇による残留塩素濃度変化の推定をおこなった。図6は浄水実験で用いた3つのサンプルについて、塩素注入率を1.0ppmとした場合の、水温と24時間後の残留塩素濃度の関係を示したものである。この図から、今回使用したサンプルについては、40℃程度の加温であれば水

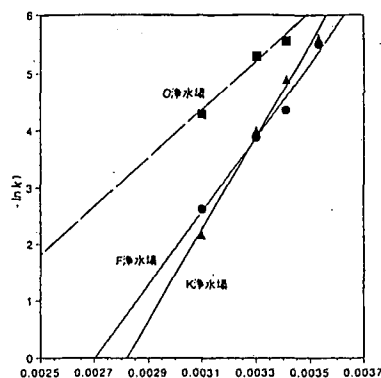


図2 各浄水場における $-\ln k_1$ と $1/T_a$ の関係

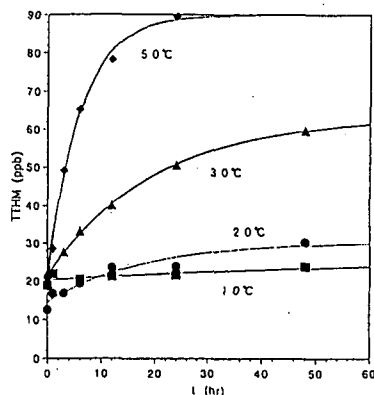


図3 TTHM生成量の経時変化 (K浄水場)

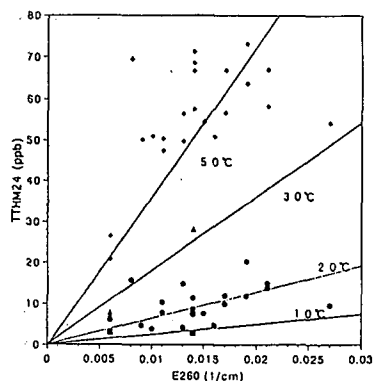


図4 TTHM₂₄とE260の関係

道法により定められた水質基準（残留塩素濃度0.1ppm以上）を満たすことがわかった。

2) THM

今回の実験を通じて、都区内水道水については大体どのサンプルも、50℃、反応時間24時間の条件でTTHM50~70ppb程度増加すること、さらに、その増加分の大部分はCHCl₃が占めており大体40~60ppb程度増加することがわかった。ゆえに水道水を加温するにあたっては特にTTHMとCHCl₃の2項目に注意する必要がある。そこで、今回の実験結果を基に、THM生成経時変化を(3)式と仮定して、水温上昇によるTTHMおよびCHCl₃生成量の変化の推定をおこなった。図7、8はE260=0.02の水道水について、塩素注入後24時間後のTTHMおよびCHCl₃生成量と水温の関係をシミュレートしたものである。この図から、40℃程度の加温ならば、THMに関しては水質基準値を満たすことがわかった（図中の最大値および最小値は、図4におけるばらつきを考慮したものである）。

以上の議論から、残留塩素濃度およびTHM生成量については、40℃程度の加温ならば水質基準から見てあまり問題はないと言えよう。しかし、サンプルによる違いのみならず季節によっても値は大きく変動することが予想され、熱輸送を実施するにあたっては綿密な実験及び調査が必要となるであろう。

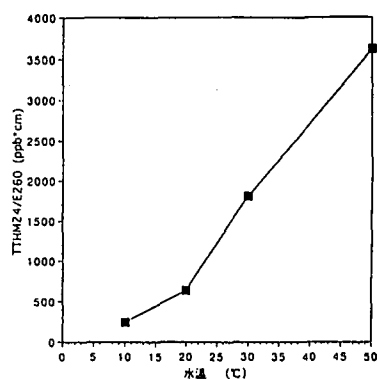


図5 TTHM₂₄/E₂₆₀と水温の関係

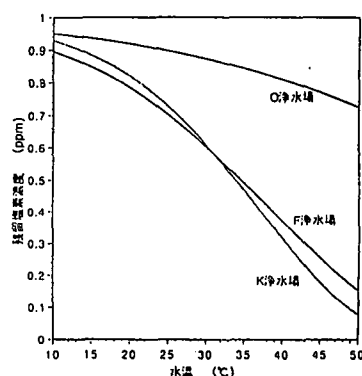


図6 残留塩素濃度と水温の関係（滞留時間24hr）

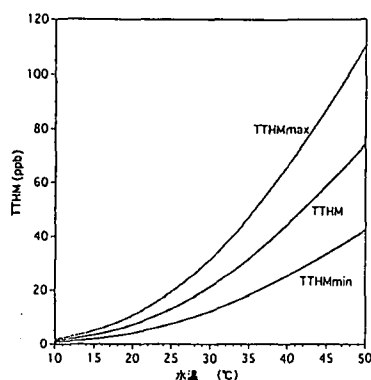


図7 E₂₆₀=0.02の水道水におけるTTHM生成量と水温の関係（滞留時間24hr）

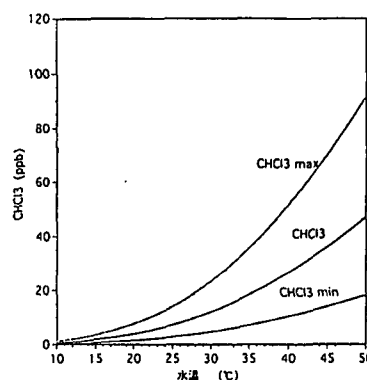


図8 E₂₆₀=0.02の水道水におけるCHCl₃生成量と水温の関係（滞留時間24hr）

5.参考文献

- 1) 山内久美子、七森祐子、加藤裕子、田中俊博：紫外外部吸光度を用いたTHMFPのシミュレーション、第44回全国水道研究発表会講演集、p762 (1993)