

原 著

次亜塩素酸ナトリウム消毒を阻害する高アルカリ温泉水に
対するモノクロラミン消毒の実地検証
—三重県津市の榊原温泉における検討—

森 康則^{1)2)*}, 永井佑樹¹⁾, 赤地重宏¹⁾, 杉山寛治³⁾, 田中慶郎³⁾,
茶山忠久⁴⁾, 西 智広¹⁾, 濱口真帆¹⁾, 吉村英基¹⁾, 泉山信司⁵⁾

(令和元年 8 月 23 日受付, 令和元年 10 月 8 日受理)

Field Test on the Effectiveness of Monochloramine as
a Disinfectant for Alkaline Hot Spring Water That Cannot
Sufficiently be Disinfected with Sodium Hypochlorite
Because of Its High pH
—A Case Study in the Sakakibara Hot Spring Area of Tsu City, Mie Prefecture—

Yasunori MORI^{1)2)*}, Yuki NAGAI¹⁾, Shigehiro AKACHI¹⁾, Kanji SUGIYAMA³⁾,
Yoshiro TANAKA³⁾, Tadahisa SAYAMA⁴⁾, Tomohiro NISHI¹⁾,
Maho HAMAGUCHI¹⁾, Hideki YOSHIMURA¹⁾ and Shinji IZUMIYAMA⁵⁾

Abstract

In the Sakakibara hot spring area of Tsu City in Mie Prefecture, Japan, there are many alkaline hot spring wells (pH>9). Sodium hypochlorite is one of the leading products currently available for controlling *Legionella* spp. and other bacteria in the public baths at those wells, despite its reduced effectiveness in such alkaline water. One possible alternative is monochloramine, regardless of pH. In this study, we performed a field test on the effec-

¹⁾三重県保健環境研究所 〒512-1211 三重県四日市市桜町 3684-11. ¹⁾Mie Prefecture Health and Environment Research Institute, 3684-11 Sakura-cho, Yokkaichi, Mie 512-1211, Japan. *Corresponding author: E-mail moriy04@pref.mie.lg.jp, TEL 059-329-2917, FAX 059-329-3004.

²⁾三重大学生物資源学部 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577. ²⁾Faculty of Bioresource, Mie University, 1577 Kurima-machiya-cho, Tsu, Mie 514-8507, Japan.

³⁾株式会社マルマ 〒430-0807 静岡県浜松市中区佐藤 2-5-11. ³⁾Maruma Co., Ltd., 2-5-11 Sato, Naka, Hamamatsu, Shizuoka 430-0807, Japan.

⁴⁾ケイ・アイ化成株式会社 〒437-1213 静岡県磐田市塩新田 328 番地. ⁴⁾KI Chemical Industry Co., Ltd., 328 Shio-shinden, Iwata, Shizuoka 437-1213, Japan.

⁵⁾国立感染症研究所 〒162-8640 東京都新宿区戸山 1-23-1. ⁵⁾National Institute of Infectious Diseases, 1-23-1 Toyama, Shinjuku, Tokyo 162-8640, Japan.

tiveness of monochloramine as a disinfectant for large volume bathtubs at a hot spring facility in Sakakibara. Monochloramine was added to bath water, and the concentrations were semi-automatically adjusted to 3 to 6 ppm. Once a week, we washed the targeted bathtubs by scrubbing them with brushes ; the bath water was changed, and the circulation system was cleaned by circulating high concentrations of monochloramine (10 to 15 ppm). As a result of such treatments, tests of the bath water were negative for *Legionella* spp. and coliforms. However, the tests were positive for heterotrophic bacteria, which appeared to be resistant to the monochloramine disinfection. Our study demonstrated that although monochloramine is effective for disinfecting against *Legionella* spp., bathtubs and circulation systems should always be carefully maintained.

Key words : *Legionella* spp., public bath, high pH, monochloramine, sodium hypochlorite, heterotrophic bacteria

要 旨

三重県中部の津市に位置する榊原温泉では、pH9 以上の高アルカリの温泉水が多数湧出している。一般に、浴用水の消毒剤として、次亜塩素酸ナトリウムが使用されることが多いが、高アルカリの温泉水では、次亜塩素酸ナトリウムの消毒力が減弱し、レジオネラ属菌の増殖が問題となることがある。本研究で着目したモノクロラミンは、高アルカリでも消毒効果が得られることが知られている。そこで、次亜塩素酸ナトリウム消毒下におけるレジオネラ属菌の増殖リスクが考えられる榊原温泉の大容量浴槽において、モノクロラミン消毒試験を行い、その効果を試みた。モノクロラミン消毒は半自動添加方式とし、浴用水中のモノクロラミン濃度がおよそ 3~6 ppm で推移するように制御した。週に 1 回の完全換水時に浴槽を清掃するとともに、およそ 10~15 ppm 程度の高濃度モノクロラミンの循環によって配管とろ過器の消毒も行った。6 週間の試験の結果、浴用水は、レジオネラ属菌、一般細菌、大腸菌群ともに陰性であった。一方、浴用水中の従属栄養細菌数は増加しており、モノクロラミン消毒に抵抗性を有する細菌の存在が認められた。以上の結果から、モノクロラミン消毒はレジオネラ属菌の制御に有用と考えられたが、モノクロラミン消毒に抵抗性を有する従属栄養細菌の制御には、従前どおりの浴槽や循環システムの適切な洗浄が必要と考えられた。

キーワード：レジオネラ属菌、公衆浴場、高アルカリ温泉水、モノクロラミン、次亜塩素酸ナトリウム、従属栄養細菌

1. はじめに

レジオネラ症は、レジオネラ属菌（以下、レジオネラ）を原因菌とする感染症である。医師がレジオネラ症と診断した場合は、感染症法（感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律）第 12 条第 1 項により、保健所長を経由して都道府県知事に届け出ることが義務付けられている。近年は、全国で年間 2,000 件を超えるレジオネラ症感染の届出がされており、年々増加の一途をたどっている。特に、レジオネラ症の主要な感染経路のひとつとされる公衆浴場では、これまで以上に厳格な衛生管理が求められている（倉・前川，2014・三重県感染症情報センター，2019）。

従来、多くの温泉利用施設では、浴用水の消毒方法として、その経済性や取扱いの簡便さ等を理由として、次亜塩素酸ナトリウムが使用されてきた。しかし、一部の温泉では、温泉そのものの化学的作用によって次亜塩素酸ナトリウムによる消毒効果が阻害されるため、全ての浴用水で必ずしも消毒剤として次亜塩素酸ナトリウムが適切でない可能性が指摘されている。

次亜塩素酸ナトリウムの消毒に阻害性を有する化学的特徴のひとつに、高アルカリが挙げられる。高アルカリの浴用水に次亜塩素酸ナトリウムを添加した場合、最も殺菌効果が期待される化学態である次亜塩素酸 (HClO) はほとんど生成されず、高アルカリ領域ではほとんどが次亜塩素酸

イオン (ClO^-) に乖離し、消毒力が減弱することが知られている (たとえば, 泉山ら 2019・杉山ら, 2010). レジオネラ症患者関連調査の結果から, 中性領域の浴用水を用いている浴場に比べて, アルカリ性領域の方が, レジオネラの定量値が比較的高い傾向を示す報告もなされている (柳本ら, 2016).

そこで, 厚生労働科学研究班を中心に, 次亜塩素酸ナトリウム消毒に阻害性を有する浴用水の消毒のために, 次亜塩素酸ナトリウムに代わる新たな消毒方法として, モノクロラミンの実用化検討が進められている (たとえば, 泉山ら, 2019). これまでに実験室内で, 高アルカリの温泉水に対するモノクロラミンの消毒効果の検証を行った研究は, 数多く報告されている. 例えば, 杉山ら (2010) は, 実験室内に設備されたモデル循環式浴槽を用いて, 2週間にわたるモノクロラミン消毒を継続し, レジオネラが検出されないことを確かめた. 柳本ら (2015) は, 山梨県内の高アルカリ温泉水を用いて, 実験室内でモノクロラミンの消毒効果を検証し, やはりいずれもレジオネラが検出されないことを確認した.

ただし, 実験室内で効果が認められた消毒方法が, 実際の温泉利用施設でも同様の効果が得られることを示すには, この効果を様々な条件を持つ施設で実地的に検証する必要がある. なぜなら, 実際の温泉利用施設でのレジオネラのリスクは, 温泉水の化学的性質とその消毒方法だけでなく, 実際の施設運営に係る様々な条件, 例えばろ過材, 循環ろ過系統の容量, 高濃度消毒の実施頻度, 連通管の有無, 利用客の多寡等, 極めて多くの要因に支配されるためである.

実際の温泉利用施設を対象としたモノクロラミン消毒効果に関する研究もいくつか報告されているものの (例えば, 田中ら, 2018・長岡ら, 2019), 高アルカリ温泉水における消毒方法を最適化し, その方法の適切な普及を図るためには, 現状では報告数が十分ではない. 実地検証は前述のとおり, その検証を行う施設の温泉水の性質や設備に起因する多くの要因が複雑に影響するため, 様々な条件における数多くの調査データの蓄積と, そこから得られたデータに対する慎重な検討を必要とするからである.

そこで本研究では, 三重県中部の津市に位置する県内有数の温泉保養地である榊原温泉を対象とする実地検証を行った. この温泉地一帯では, pH9 以上の高アルカリの温泉が多数湧出している (富森ら, 1983・森ら, 2018). pH9.5 の榊原温泉の代表的な温泉を使用する温泉利用施設の協力を得て, 次亜塩素酸ナトリウムよりも pH 依存性が低いとされるモノクロラミン消毒を用いて, 6週間にわたりレジオネラをはじめとする微生物学的リスク, 浴用水の汚染物質による理化学的リスクに対する消毒効果の継続的なモニタリングを行った. 本対象施設は, 消毒効果に影響する大きな要因のひとつと考えられる循環系統内容量がろ過器を含めて約 30 m^3 と大きく, ここで得られた研究成果から, 高アルカリ温泉の集中地域である榊原温泉の他の施設だけでなく, 全国の高アルカリ温泉への普及展開に資する知見を得ることが期待できる.

実地検証の結果, 温泉利用施設の衛生管理の上でいくつかの有用な知見が得られたので, 以下に報告する.

2. 方 法

2.1 対象施設と温泉水

三重県津市榊原町に位置する公営の日帰り温泉施設を対象とした. 対象施設の概略的な位置図を Fig. 1 に示す.

同施設では近隣から湧出する温泉水が管路を経由して施設まで配湯され, 源泉タンクに貯留された後, 適宜循環ろ過系統に導入されている. 同施設で使用されている温泉の成分分析の結果を Table 1

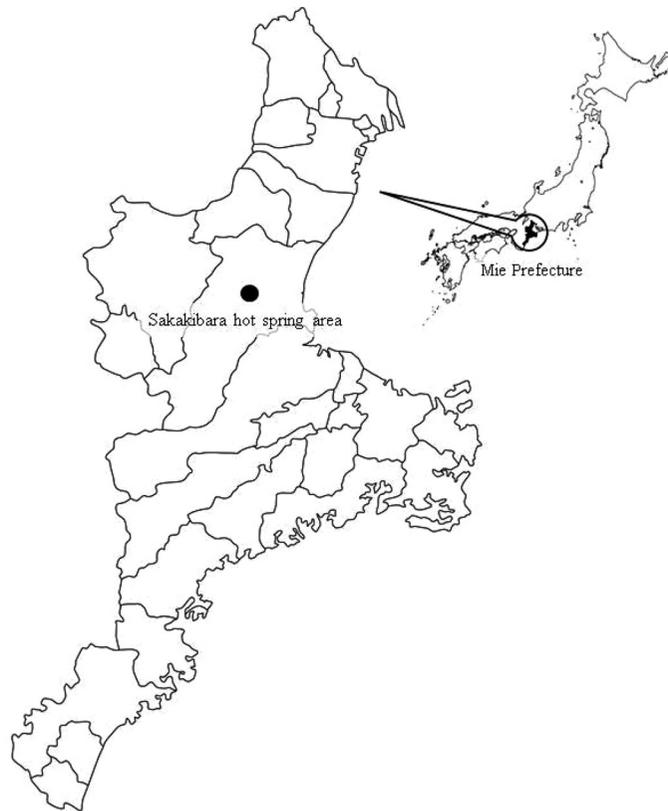


Fig. 1 Location of the hot spring facility analyzed in this study.

Table 1 Composition of the hot spring water

Cation	mg/kg	Anion	mg/kg	Non-dissociation Component	mg/kg
Na ⁺	92.5	F ⁻	1.5	H ₂ SiO ₃	52.2
K ⁺	1.1	Cl ⁻	16.1		
Ca ²⁺	0.5	SO ₄ ²⁻	29.5		
		HPO ₄ ²⁻	0.3		
		HCO ₃ ⁻	112.9		
		CO ₃ ²⁻	27.0		
		BO ₂ ⁻	2.0		
Total	94.1	Total	189.3	Total	52.2

pH, 9.5 ; Water temperature, 24.6°C

Date of Analysis, 1/Oct/2010.

に、施設や設備状況の概要について Table 2 に示す。

研究対象は、同施設で最も大きい浴槽（循環系統内容量約 30m³）とした（Fig. 2）。男女の浴槽がそれぞれ連通管で接続されている。循環ろ過は砂ろ過方式であり、毎営業日に逆洗処理を行っている。ヘアキャッチャーで捕捉される固形物は、毎日、回収している。

Table 2 Specifications of targeted hot spring facility and its equipment

Targeted equipment in this study	Whole-body bathtubs for men and women, and circulation system (bathtubs for men and women had connection tubes for circulating bath water between them)
Disinfectant used prior to the field application test	Sodium hypochlorite
Air bubble bath	Yes
Circulation system volume	Approximately 30 m ³
Filtration method	Sand filter
Number of user	Approximately 600 per day

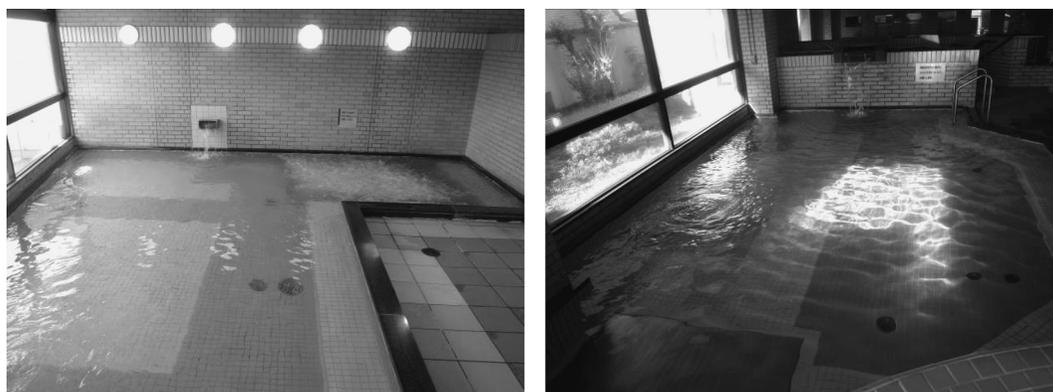


Fig. 2 Targeted bathtubs at the hot spring institute. The men's and women's bathtubs have connection tubes for circulating bath water between them. (right ; men's bath ; left, women's bath)

同施設では、毎週月曜日の営業時間終了後から翌日火曜日（休館日）にかけて、完全換水を実施している。実地試験中も同様に、毎週月曜日の営業終了後からその翌日の火曜日にかけて完全換水を行うとともに、その完全換水作業の中で、ブラシやポリッシャーによって調査対象の浴槽清掃を行った。モノクロラミン実地試験期間中の浴槽清掃には、モノクロラミン生成を妨害しにくい中性の浴槽用洗剤を用いた。

モノクロラミンの実地試験に先行して、対象の循環系統における過炭酸ナトリウムを主成分とする洗浄剤を用いて配管洗浄を行った。配管洗浄後、ヘアキャッチャー内の配管側面のふきとり検査により、レジオネラ、一般細菌、従属栄養細菌、大腸菌群の培養試験を実施し、モノクロラミン実地試験開始時には、配管内部のバイオフィーム等に起因する微生物学的汚染がないことを確認した。

2.2 消毒方法

消毒方法は、厚生労働科学研究班を中心に実用化検討が続けられているモノクロラミン消毒を用いた（前川，2019・泉山ら，2019）。

実際に稼働中の浴槽で実地試験を行う関係上、十分な殺菌力があることを事前確認する必要があるため、実地試験に先行して、本温泉水の中にモノクロラミンを添加した場合のモノクロラミン安定性試験と、本温泉水にレジオネラ、ブドウ球菌、大腸菌の菌液とモノクロラミンを添加して、その消毒効果を確認する *in vitro* 試験を、それぞれ室内で行った。各菌液を添加した温泉水にモノクロラミン濃度が3ppmになるようにモノクロラミン溶液を添加し、2時間静置した後、その検液を

各培地に塗布した。その結果、いずれも陰性の結果が得られ、殺菌力に問題がないことを確認した。

実地試験は 6 週間かけて実施した。研究のスキームは、長岡ら (2019) や泉山ら (2019) の研究デザインを参考とした。施設のバックヤードのろ過器導入前に、次亜塩素酸ナトリウム製剤 (ケイミックス SP、ケイ・アイ化成株式会社製) とアンモニウム製剤 (レジサイド、ケイ・アイ化成株式会社製) によって用時調製されたモノクロラミン溶液を、循環ろ過系統内に注入した。対象施設の 10:00~21:00 の営業時間中、およそ 2 時間~2 時間半毎に 1 回注入し、6 週間の実験期間中に、次亜塩素酸ナトリウム製剤を約 100 kg、アンモニウム製剤を約 50 kg 使用した。一般に、モノクロラミン調製時に各製剤の一方が不足したり、pH が大きく酸性側に傾いたりすると、塩素臭や肌への刺激を引き起こすジクロラミンやトリクロラミンが生成される (たとえば、杉山, 2015)。このため本試験では、pH をモニターしながら製剤の注入を行い、これらの物質の生成を抑制した。

この注入頻度は、浴用水のモノクロラミン濃度が、常時およそ 3~6 ppm の管理濃度範囲で推移することを意図して行った。なお、管理濃度範囲は、全国に先駆けて浴用水のモノクロラミン消毒を条例中に明示した、「静岡市公衆浴場法施行規則条例」に準じる「静岡市公衆浴場法等の施行に関する規則」(Appendix 1 参照) ならびに「静岡市旅館業法等施行条例」に準じる「静岡市旅館業法等の施行に関する規則」において規定されている「1 リットル中 3 ミリグラム以上」を目安とした。営業時間内は 2 時間に 1 回、後述の方法によって全塩素濃度を現地測定し、全塩素濃度が管理濃度範囲内に入らない場合は、手動操作によって濃度調整を行った。

なお、毎営業日の営業時間終了後に逆洗処理を行った。逆洗の洗浄水は排水するため、その減少分は新たな温泉水を補給することとなるものの、その補給分は多くても循環系統容量全体の 1~2 割程度と見積もられ、温泉水補給に伴う理化学的、微生物学的な希釈効果は低いものと考えられた。

加えて、毎週月曜日の営業時間終了後から翌日火曜日 (休館日) にかけての完全換水の前に、循環配管内の高濃度モノクロラミン洗浄を実施した。具体的には、通常の営業時には 3~6 ppm の濃度範囲で推移させる浴用水に、モノクロラミン原液を追加添加して、モノクロラミン濃度を 10~15 ppm に上昇させて、循環ろ過および逆洗を行った。この方法は、定期的に高濃度の遊離塩素 (5~10 ppm) によりろ過器を洗浄するフィルター・リフレッシュ法 (杉山, 2008) の応用であり、ろ過材や配管内部に付着するバイオフィーム生成の抑制等を目的として実施した。

2.3 分析方法

浴槽から採材した検水は、全塩素濃度のみ現場で測定を行い、それ以外の検水は冷蔵保存 (アメーバ分析用の検体は常温保存) の状態で実験室に速やかに搬入し、以下の分析に供した。

- ① 採材頻度：2 時間に 1 回 (毎営業日 営業時間中)
 - 全塩素濃度：ジエチル-*p*-フェニレンジアミン (DPD) 法 (現場測定)
 - 測定機器：ポケット残留塩素計 (HACH Pocket colorimeter II)
- ② 採材頻度：毎日 (毎営業日 営業時間終了後)
 - pH, EC：ガラス電極法
 - 測定機器：TOA MM-60
 - Na⁺：フレイム—原子吸光光度法
 - 測定機器：原子吸光光度計 SHIMADZU AA-7000
 - 方式：Air-C₂H₂ フレイム
 - 試料：HCl 固定
 - Cl⁻：イオンクロマトグラフ法

測定機器：イオンクロマトグラフ Thermo (DIONEX) DX-120

分離カラム：AS-23 (4×250mm)

方式：サプレッサ

移動相：4.5 mmol/L Na₂CO₃ + 0.5 mmol/L NaHCO₃ 溶液

流速：1.00 mL/min

試料：0.45 μm メンブレンフィルターろ液

TOC：全有機炭素計測定法

測定機器：全有機体炭素計 SHIMADZU TOC-V CPH

③ 採材頻度：毎週 (毎週月曜日 完全換水前)

レジオネラ：

検水 500 ml を孔径 0.2 μm のポリカーボネートフィルターで 100 倍濃縮した後, 酸処理検体 0.2 mL, 熱処理検体 0.1 mL を GVPC 寒天培地 (ニッスイプレート GVPC 寒天培地) ならびに BCYE α 培地 (栄研化学ポアメディア BCYE α 寒天培地) に接種し 36°C, 7 日間培養. 必要に応じて, PCR を用いて確定検査を実施. PCR は LEG (genus *Legionella* 16S rRNA gene) プライマーを使用し, レジオネラであることを確定.

一般細菌：

適宜希釈した検水 1 mL を標準寒天培地 (栄研化学 パールコア標準寒天培地) に接種し, 混釈培養法により, 36°C, 24 時間培養.

従属栄養細菌：

適宜希釈した検水 1 mL を R2A 寒天培地 (アズワン サニスベック粉末培地 R2A 寒天) に接種し, 混釈培養法により, 42°C, 3 週間培養.

アメーバ：

常温保存の検水 1 mL を大腸菌塗布無栄養寒天培地で 42°C, 7 日間培養.

大腸菌群：

特定酵素基質培地 (ピルビン酸添加 XGal-MUG 培地 (ニッスイ EC ブルー 100) に試料水 100 mL を接種し 36°C, 24 時間培養.

なお, モノクロラミン濃度の測定には, 現地における簡易検査であっても, 毒劇物取締法に基づく毒物 (ニトロプルシッドナトリウム) を使用する必要がある. 本研究では, これらの危険試薬を現地担当者が使用することは, 労働安全上適切ではないと判断するとともに, 一部の検体における確認試験の結果, 本研究の条件下では, 全塩素濃度がモノクロラミン濃度とほぼ一致しているものと推定できたことから, 以後, DPD 法による全塩素濃度の測定値をもって, モノクロラミン濃度と読み替えることとした.

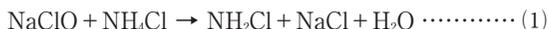
3. 結果および考察

3.1 浴用水中のモノクロラミンの濃度管理

モノクロラミン消毒は, 次亜塩素酸ナトリウムに代替できる消毒方法として国内外の水道水にも採用されており (水道法施行規則 Appendix 2 参照), レジオネラの殺菌と微生物叢 (バイオフィーム) の生成抑制の効果がある (Kool *et al.*, 2000). モノクロラミン消毒のメカニズムについては, 別報 (たとえば, 杉山, 2015) に詳述されているため, ここではその概説のみに留める.

モノクロラミンは次亜塩素酸ナトリウムに塩化アンモニウム (あるいは硫酸アンモニウム) を加

えて、生成されたモノクロラミン (NH₂Cl) により殺菌する方法である。塩化アンモニウムを使用する場合のモノクロラミン生成に関する化学反応式は、以下のとおりである。



モノクロラミンの殺菌力は、次亜塩素酸ナトリウム殺菌の有効成分である次亜塩素酸に比べると劣るものの、化学的に安定で消毒効果が持続するだけでなく、高アルカリ領域においても、比較的高い殺菌効果を示すことが明らかになっており、実験動物を用いた皮膚刺激試験に基づく安全性に関する研究報告もある (神野ら, 2009)。

実地試験中における浴水のモノクロラミン濃度の推移を Fig. 3 に示す。浴水中のモノクロラミン濃度は、ほぼ安定的に推移していることが認められた。ただし、休日や夜間等の入浴客の増加に伴って温泉水の足し湯をした場合に、モノクロラミン濃度が管理濃度範囲よりも若干低くなる傾向が見られた。この場合は、即座にモノクロラミンを循環系統内に手動操作によって追加的に添加したところ、短時間でモノクロラミン濃度が管理濃度範囲に回復した。

3.2 浴水中の理化学的汚染指標の濃度変動

実地試験中に毎日採材した浴水の成分濃度について、主要な理化学的汚染指標として、電気伝導度 (EC Electric Conductivity), ナトリウムイオン (Na⁺), 塩化物イオン (Cl⁻), TOC (全有機体炭素 TOC Total Organic Carbon) の推移を Fig. 4 に示す。

いずれの項目も大きな濃度変動は認められず、利用客の浴用に起因する汚れの蓄積が、他の利用客の浴用の支障となるような状況は見受けられなかった。また、浴水の pH の変動幅は、6 週間

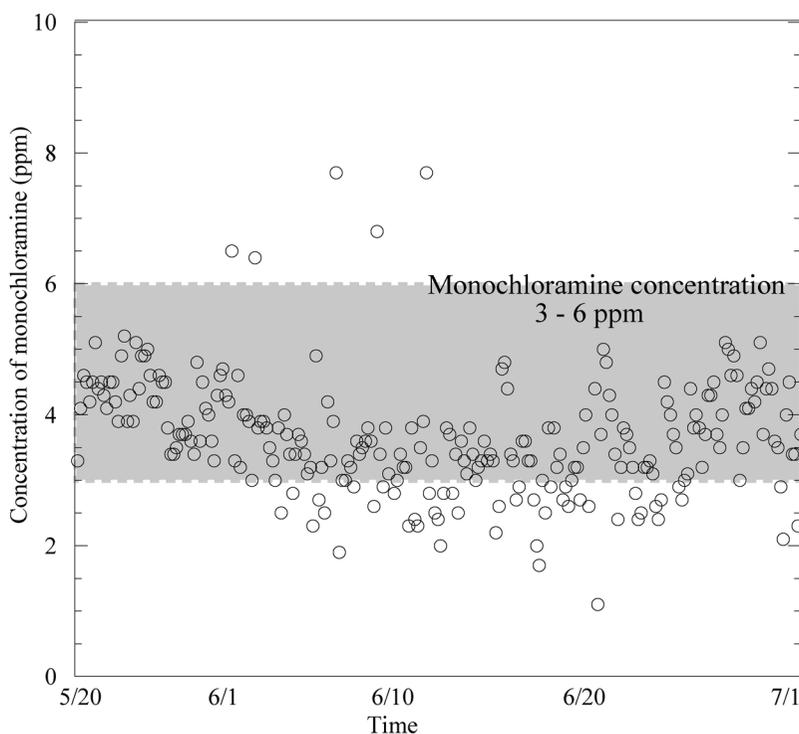


Fig. 3 Variations in monochloramine concentration in bath water. Gray squares indicate a monochloramine concentration of 3-6 ppm.

にわたって 8.35~9.01 の変動幅であり, 消毒効果に大きな影響を与えるような変動は認められなかった。

しかしながら, 子細に観察すると, 毎週月曜日の完全換水から完全換水の期間に, 一定傾向の濃度変動が認められ, 特に TOC でその傾向が明瞭である。すなわち, 完全換水を行った日の測定値が最も低く, 経日的に次第に濃度は上昇し, 次の完全換水でまた濃度が低下する一定傾向の変動が観察される。これは浴用に起因する塩分や有機物の蓄積による影響と解釈できる。いくつかの週では, 完全換水の前々日が濃度のピークであり, そのあと完全換水の前日に濃度が下がる現象も見受けられるが, これは完全換水の前日が利用客の多い日曜日であり, 浴用水に新たに足し湯を比較的多く行ったためであると推測される。

いずれにしても, 利用客の浴用に起因する理化学的汚染指標成分の濃度変動は避けられないが, たとえば有機物は雑菌の餌となるものであるため, この濃度変動結果から, 可能な限り高頻度の完全換水によって初期状態に戻すことが, 衛生管理上非常に重要であるという結論が導かれる。

3.3 浴用水中のレジオネラの制御

週に 1 回の完全換水の前に浴用水の採材を行い, 微生物学的検査を行った結果を Table 3 に示す。6 週間の実地試験期間を通じて, レジオネラ, 一般細菌, 大腸菌群はいずれも陰性であった。この結果は, 本研究の条件下において, 管理濃度範囲におけるモノクロラミン消毒がレジオネラ, 一般細菌, 大腸菌群の殺菌に十分な効果があることを示している。

3.4 浴用水中の従属栄養細菌の制御

全ての浴用水の検査において, レジオネラ等が陰性であった一方で, 実地試験における浴用水中の従属栄養細菌については, いずれも陽性であった。

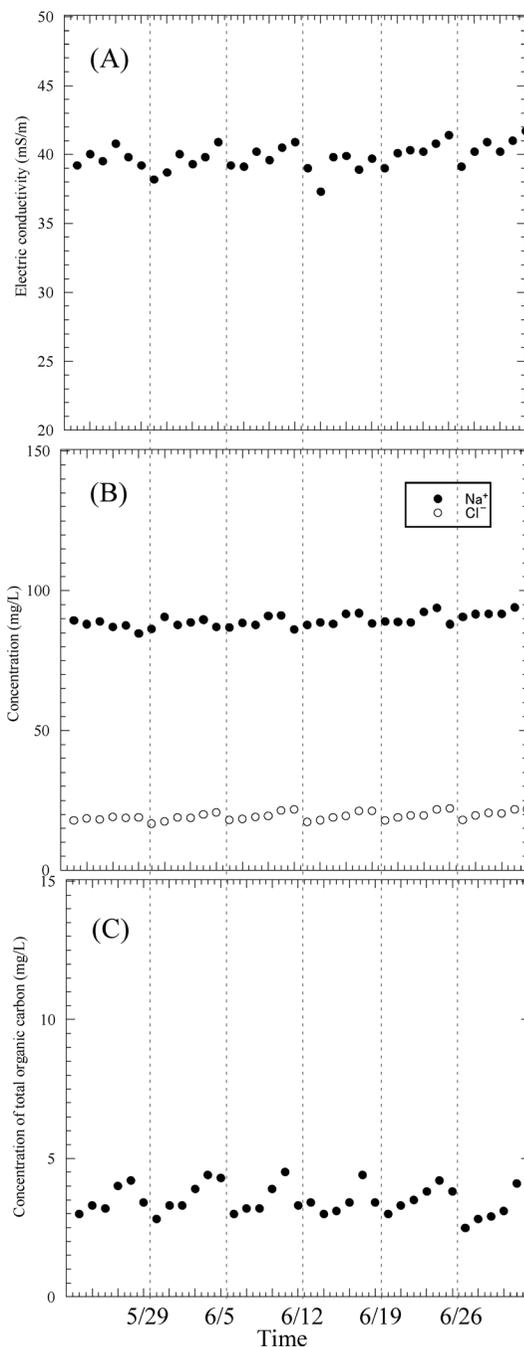


Fig. 4 Variations in (A) electric conductivity, (B) concentrations of sodium and chloride ions, and (C) concentration of total organic carbon. Vertical dotted lines indicate the days on which bath water was changed.

Table 3 Results of bacteriological test

Sampling date	<i>Legionella</i> spp.	Viable bacteria	Coliform group	Amoeba (mL)	Heterotrophic bacteria (CFU/ mL)
27/May/2019 (1st week)	—	—	—	—	+ (3,900)
3/Jun/2019 (2nd week)	—	—	—	—	+ (>100,000)
10/Jun/2019 (3rd week)	—	—	—	+ (2)	+ (45,700)
17/Jun/2019 (4th week)	—	—	—	—	+ (59,300)
24/Jun/2019 (5th week)	—	—	—	—	+ (21,250)
1/Jul/2019 (6th week)	—	—	—	+ (0.5)	+ (31,400)

※— : negative result

※Figures in parentheses indicate microbiological counts (counts per mL).

CFU : colony forming unit

モノクロラミン消毒下の浴用水で *Mycobacterium phlei* をはじめとする従属栄養細菌が検出される現象は、先行研究でも報告されている (長岡ら, 2019)。本研究でもこの先行研究と整合的な結果が得られており、一部の従属栄養細菌が、モノクロラミン消毒に対する抵抗性を有することを支持する結果であった。加えて、2019/6/10 (3 週目) と 2019/7/1 (6 週目) に採材した検水からは、僅かながらもアメーバが検出された。カウント数が少なく、十分な議論は難しいものの、アメーバは従属栄養細菌の捕食者に相当するため、従属栄養細菌の増殖によってアメーバが検出されるに至った可能性は考えられる。

浴用水中の従属栄養細菌を制御するために、杉山 (2008) が提案するフィルター・リフレッシュ法を参考に、循環配管およびろ過器の高濃度モノクロラミン消毒を行った。高濃度モノクロラミン消毒の設定濃度は、実地試験の 1~5 週目は 10 ppm としていたが、それまでの従属栄養細菌の検査結果をふまえて、実地試験の 6 週目 (2019/6/24) に 15 ppm に設定濃度を変更した。濃度変更の効果を検証するために、臨時的に高濃度モノクロラミン消毒直後にあたる 2019/6/26 に浴用水を採材し、従属栄養細菌の分析を行った結果、1,300 CFU/mL の結果であった。それまでのサンプルより菌数の減少は認められたが、それでも十分な従属栄養細菌の殺菌に至っていないことを考えると、本研究で対象とした設備条件下では、従属栄養細菌の制御には至らなかった可能性がある。

このことからモノクロラミン消毒は、浴槽清掃や循環ろ過系統の洗浄等の従来の衛生管理工程を代替、省略できるものではなく、従来通りのこまめな浴槽清掃や、過酸化水素水や過炭酸ナトリウム等の洗浄剤による配管洗浄を併用することによって、レジオネラのみならず、従属栄養細菌等の制御にも有用となることを示している。モノクロラミン消毒による浴用水中の従属栄養細菌やアメーバの制御については、今後も引き続き課題として取り組んでいく必要がある。

4. ま と め

三重県津市における榊原温泉に湧出する多数の温泉の中から、同温泉地の特徴である高アルカリ (pH9.5) の温泉水を用いる公営の日帰り温泉施設に協力を得て、6週間にわたるモノクロラミン消毒の実地試験を行った。

モノクロラミンは、次亜塩素酸ナトリウム製剤とアンモニウム製剤による用時調製の後、モノクロラミン濃度が本研究の管理濃度範囲 (3~6 ppm) となるように、浴用水の循環系統内に添加した。その結果、実地試験期間を通じて、浴用水中のモノクロラミン濃度は、ほぼ安定的な推移が認められた。

実地試験中に採材した浴用水からは、レジオネラ、一般細菌、大腸菌群ともに、いずれも陰性であった。このことから、本研究における高アルカリの温泉水を用いた設備条件下では、モノクロラミン消毒によりレジオネラ等の制御が可能であることが示された。

一方で、実地試験中に採材した浴用水における従属栄養細菌はいずれも陽性であった。このことは、一部の従属栄養細菌がモノクロラミン消毒に対する抵抗性を有していることを示している。本研究の施設条件下では、モノクロラミン消毒に加えて、高頻度の浴槽清掃や定期的な配管洗浄等の従来通りの衛生管理工程と併用することによって、種々の細菌を効果的に消毒できることを示している。

これらの結果から、次亜塩素酸ナトリウムに阻害要因を有する高アルカリの温泉水に対して、モノクロラミン消毒の有用性が示唆された。レジオネラに対する殺菌効果が高いことはもとより、次亜塩素酸ナトリウム消毒に比べて、有効成分の濃度安定性が極めて高いことは、現場で濃度管理する担当者の負担を軽減することにつながるものである。

ただし、実際の施設導入のためには、モノクロラミンの自動注入装置に対するイニシャルコスト、また、次亜塩素酸ナトリウムに加えて、新たに塩化アンモニウム (硫酸アンモニウム) を使用する必要が生じることから、このことによるランニングコストの増加が、ひとつの検討課題となると思われる。

また、本研究で着目した浴用水質だけでなく、ろ過材、配管状況、利用客数等、施設ごとに設備状況が異なるため、最適な消毒方法、運用方法もまた、施設ごとに異なると思われる。今後も様々な設備条件の施設で実地検証を行い、研究データの蓄積を図る必要がある。

謝 辞

モノクロラミン実地試験について、「温泉保養館湯の瀬」を所轄する津市の久居総合支所地域振興課 波多野裕三氏、ならびに同施設の指定管理者であるイオンデイトライト株式会社、施設責任者である丸山幸子氏には、格別の御配慮を賜りました。

また、三重県医療保健部食品安全課生活衛生・動物愛護班ならびに津保健所保健衛生室衛生指導課の担当者の方々の御協力を頂きました。

本研究の一部は、厚生労働科学研究費 (健康安全・危機管理対策総合研究事業)「公衆浴場におけるレジオネラ症対策に資する検査・消毒方法等の衛生管理手法の開発のための研究 (19LA0601)」(研究代表者 前川純子) の補助を受けて実施しました。

モノクロラミン実地試験の前に実施した配管洗浄につきましては、同厚生労働科学研究班の研究協力者である花王株式会社ハウスホールド研究所 山本哲司氏、田中孝典氏に、実地作業、薬剤提供および検査結果の提供等の御協力を賜りました。

また、匿名の2名の査読者には懇切丁寧な御指摘を頂きました。

ここに記して、深く感謝申し上げます。

引用文献

- 泉山信司, 長岡宏美, 柳本恵太, 堀内雅人, 山上隆也, 植松香星, 久田美子, 森 康則, 赤地重宏, 永井佑樹, 杉山寛治, 田中慶郎, 市村祐二, 青木信和, 江口大介, 西尾正也, 山本哲司, 八木樹里奈, 藤井 明, 松田宗大, 松田尚子, 枝川亜希子, 吉田光範, 星野仁彦 (2019): 高 pH 浴槽水, 薬湯, 並びに水泳プールへの, モノクロラミン消毒の応用. 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合研究事業. 公衆浴場等施設の衛生管理におけるレジオネラ症対策に関する研究 (研究代表者 前川純子) 平成 28~30 年度総合研究報告書, p 120-137.
- 神野透人, 泉山信司, 香川 (田中) 聡子, 高橋淳子, 畔上二郎 (2009): モノクロラミンの皮膚一次刺激性に関する研究. 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合研究事業. 公衆浴場におけるレジオネラの消毒方法に関する研究 (研究代表者 遠藤卓郎) 平成 20 年度分担研究報告書, p 30-47.
- Kool, J.L., Carpenter, J.C., Fields, B.S. (2000): Monochloramine and Legionnaires' disease. Journal AWWA., **92**, 88-96.
- 倉 文明, 前川純子 (2014): レジオネラ症とは, 国立感染症研究所 web サイト, <https://www.niid.go.jp/niid/ja/kansennohanashi/530-legionella.html> (2019/7/22 アクセス).
- 前川純子 (2019): 公衆浴場等の衛生管理におけるレジオネラ症対策に関する研究 (研究代表者 前川純子). 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合研究事業. 平成 28~30 年度総合研究報告書, p 1-161.
- 三重県感染症情報センター (2019): 疾患別情報 レジオネラ症, 三重県感染症情報センター web サイト, <http://www.kenkou.pref.mie.jp/disease.html> (2019/7/22 アクセス).
- 森 康則, 西 智広, 川邊揚一郎, 吉村英基 (2018): 三重県における温泉利用施設の浴槽水質検査結果から推測される温泉資源の利用状況と地域特性, 温泉科学, **68**, 13-24.
- 長岡宏美, 泉山信司, 八木田健司, 小坂浩司, 壁谷美加, 土屋祐司, 森主博貴, 水谷嗣郎, 村田学博, 杉山寛治, 市村祐二, 青木信和, 森 健, 漆畑 健, 森川正浩, 稲葉尋高 (2019): 公衆浴場施設におけるモノクロラミンによる消毒効果の検討. 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合研究事業. 公衆浴場等施設の衛生管理におけるレジオネラ症対策に関する研究 (研究代表者 前川純子) 平成 28~30 年度総合研究報告書, p 145-158.
- 杉山寛治 (2008): 循環式浴槽の衛生管理—フィルター・リフレッシュ法の有用性—. 温泉工学会誌, **30**, 98-104.
- 杉山寛治, 小坂浩司, 泉山信司, 縣 邦雄, 遠藤卓郎 (2010): モノクロラミン消毒による浴槽レジオネラ属菌の衛生対策. 保健医療科学, **59**, 109-115.
- 杉山寛治 (2015): モノクロラミン消毒による浴槽水の衛生対策. ビルと環境, **148**, 34-41.
- 田中 忍, 中西典子, 野本竜平, 有川健太郎, 濱 夏樹, 岩本朋忠 (2018): 温泉水におけるモノクロラミン消毒効果の検証. 神戸市環境保健研究所報, **46**, 39-42.
- 富森聡子, 橋爪 清, 林 政美, 藤尾昭定 (1983): 三重県の温泉分析結果について. 三重県衛生研究所年報, **29**, 61-67.
- 柳本恵太, 高村知成, 植松香星 (2015): 山梨県内のレジオネラ属菌の消毒が困難な浴用水におけるモノクロラミンの消毒効果. 山梨衛環研年報, **59**, 55-57.
- 柳本恵太, 山上隆也, 植松香星 (2016): レジオネラ症患者関連調査における山梨県内の公衆浴場等からのレジオネラ属菌検出状況について. 山梨衛環研年報, **60**, 56-59.

Appendix 1 静岡市公衆浴場法等の施行に関する規則（抜粋）

第10条 条例第4条第7号セに規定する規則で定める方法は、次の各号に掲げるいずれかの方法とする。

- (1) 浴槽水に塩素系薬剤を投入する方法。この場合において、浴槽水の遊離残留塩素濃度は、1リットル中0.2ミリグラム（気泡発生装置、ジェット噴射装置その他の微小な水粒を発生させる設備（以下「気泡発生装置等」という。）を使用する浴槽の浴槽水にあつては、1リットル中0.3ミリグラム）以上に保つものとする。
- (2) 浴槽水にモノクロミンを投入する方法。この場合において、浴槽水のモノクロミン濃度は、1リットル中3ミリグラム以上に保つものとする。

Appendix 2 水道法施行規則（抜粋）

第17条 法第22条の規定により水道事業者が講じなければならない衛生上必要な措置は、次の各号に掲げるものとする。

- 一 略
 - 二 略
 - 三 給水栓における水が、遊離残留塩素を0.1mg/L（結合残留塩素の場合は、0.4mg/L）以上保持するように塩素消毒をすること。ただし、供給する水が病原生物に著しく汚染されるおそれがある場合又は病原生物に汚染されたことを疑わせるような生物若しくは物質を多量に含むおそれがある場合の給水栓における水の遊離残留塩素は、0.2mg/L（結合残留塩素の場合は、1.5mg/L）以上とする。
- 2 前項第3号の遊離残留塩素及び結合残留塩素の検査方法は、厚生労働大臣が定める。