

三重大学大学院生物資源学研究所\* 正生員 千田 真喜子  
 三重大学大学院生物資源学研究所 フェロー 葛葉 泰久  
 Yangon University nonmember Kay Thwe HLAING  
 三重大学教育学部 非会員 宮岡 邦任  
 三重大学大学院生物資源学研究所 非会員 春山 成子  
 (\*兼任 京都光華女子大学・大阪成蹊短期大学)

1. 序論

飲料水の水質, 下水道などの衛生環境の状況が良くないミャンマーの水質<sup>1)</sup> について調査・研究することは, 健全な水環境保持のため重要である。著者らは 2010 年 1 月と 9 月, 2011 年 9 月に現地調査を行ったが, 本研究では, 2010 年 9 月の水質データと 2011 年 9 月の詳細に水質を調べたデータを用いる。

2. 観測方法及び解析手法

調査区域 (図 1) はミャンマーのデルタ地帯で, 主に Yangon 市, Patheingyi 市 其の間の経路で, 河川水, 井戸水 (tube well および well), 池の水, 簡易水道水 (非浄化), 浄水場の池の水 (塩素消毒前と塩素消毒後), 水道水, 水道水の水源, 市販のミネラルウォーターの採水を行った。現地で電気伝導度 (EC), pH と水温を測定し, 採取した水は, 試料ビンに入れて研究室に持ち帰り, ICP-OES で,  $Al^{3+}$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  (2011 年 9 月のみ) を, イオンクロマトグラフィーで,  $F^{-}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $NO_2^{-}$ ,  $Br^{-}$ ,  $NO_3^{-}$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Li^{+}$ ,  $Na^{+}$ ,  $NH_4^{+}$ ,  $K^{+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  (2010 年 9 月は, 図 2 の項目のみ) を測定した。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は, ビュレットによる 0.01M 硫酸による滴定法で, M アルカリ度より求めた (2011 年 9 月のみ)。得られた結果を用いて, 濃度相関マトリクス法で水質の性質を検討した。

3. 結果及び考察

3.1 水源及び浄水場の水質概況

2010 年 9 月における浄水場の塩素消毒前の水質の平均値と, 塩素消毒後の水質について, 図 2 に示す。2011 年 9 月の水道水源, 浄水場の塩素消毒前, 塩素消毒後の水質について, 平均値を図 3 に示す。

2010 年 9 月の消毒後の水は, 消毒前の水に比して,  $F^{-}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NH_4^{+}$  が顕著に多かった。極めて強い塩素消毒の臭いがしていたにも関わらず,  $NH_4^{+}$  が多く存在したということは, 消毒前の原水に窒素を含む汚染物質が高濃度で存在していた可能性が示唆される。本調査では, “同日に採水” したため, “同じ水の消毒前と消毒後の水質” ではない。消毒後の水は, 聞き取り調査により, 上流の水源を大掃除した際に, 汚れた水が一気に流れてくる場合があることがわかったので, ここでいう消毒後の水は, そのような水の可能性が推測される。そのような汚染された水に対して,  $NH_4^{+}$  が存在するような不適切な消毒をして配水することがありうるシステムに対し, 今後の改善が望まれる。

2011 年 9 月の調査では, 浄水場の消毒前の水質は, 水源と比して,  $Fe^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $NO_3^{-}$  が多かった。 $Fe^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  が多いという結果は, 水源から浄水場までの配管から溶出の可能性が示唆される。また, “採水日が同じ水” なので, “同じ日, 同じ (多水源からの) 混合割合の水” ではない可能性が示唆される。

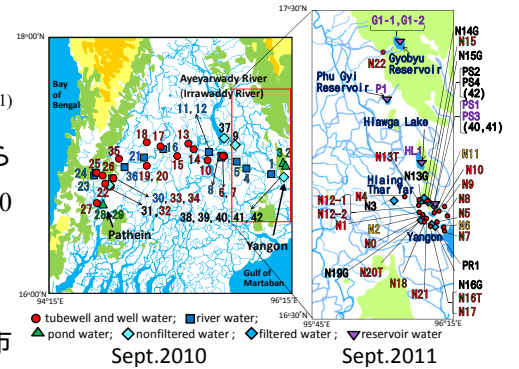


図 1 調査地域と採水地点

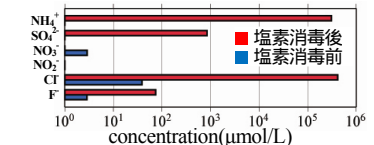


図 2 2010 年 9 月の浄水場の水質 (塩素消毒前 No.40 と 41, 塩素消毒後 No.42)

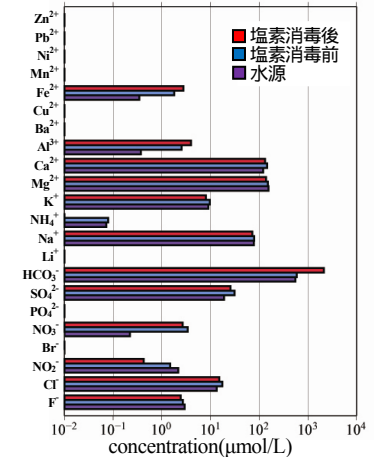


図 3 2011 年 9 月の水源及び浄水場の水質 (水源 (G1-1, G1-2, P1, HL1), 浄水場の塩素消毒前 (PS1, PS3), 浄水場の塩素消毒後 (PS2, PS4))

### 3.2 河川水、池の水、井戸水、非浄化簡易水道水、浄化水道水の水質概況

図4に2010年9月の河川水、池の水、井戸水、非浄化簡易水道水の水質を示す。2010年9月の井戸水及び非浄化簡易水道水では、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ で高い値が検出され、特に非浄化簡易水道水では、平均  $\text{Cl}^-$ 濃度が  $200\text{mg/L}$  ( $5,640\ \mu\text{mol/L}$ ) 以上 (日本の水質基準は  $200\text{mg/L}$  以下) の飲用に適さない値だった。一方、河川水及び池の水では、井戸水、非浄化簡易水道水と比較すると全体的に低い値であり、飲用に適さない値ではなかった。

図5に2011年9月の井戸水 (tube well と well) と浄化水道水の水質を示す。2011年9月の浄化水道水で検出された  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 濃度は、2010年9月の非浄化簡易水道水の値と比較して、10分の1以下の値であった。しかし、浄化水道水から、浄水場では検出されなかった  $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ などの重金属が検出されていることから、水道管内で汚染物質が混入していることが示唆される。また、井戸水の各種イオン濃度は、水道水のそれらと比較して概ね高かった。特に、 $\text{Mn}^{2+}$ や  $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 等が多く、その原因として、井戸水は、水道水より土壌や畜産排せつ物などの混入、人為的汚染の影響を受けやすいことが考えられる。さらに、tube well と well では、概ね tube well の方が多く含まれていた。一般的には、深い井戸 (tube well) は、浅い井戸 (well) より水質が良いといわれているが、本研究では、深い井戸水のほうがより汚染されていた。この原因として、もともとその地域の土壌がより汚染されていた可能性と、井戸が深くなるほど汲み上げる過程で不純物が混入しやすくなる可能性が考えられる。

### 3.3 濃度相関マトリクス法によるミャンマーの水質

濃度相関マトリクス法を用いて、2011年9月のミャンマーの水質について検討した。その際、t検定により5%水準で有意であり、かつ0.7以上の相関係数の場合、正の相関があるものとし、また、t検定により5%水準で有意であり、かつ-0.7未満の相関係数の場合、負の相関があるものとした。井戸水 (“tube well 及び well”, “tube well”) で、 $\text{HCO}_3^-$ と  $\text{Ca}^{2+}$ に正の相関関係が見られ、これらは炭酸塩鉱物の溶出による成分と考えられる。また、相互に有意な正の相関が見られたのは、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ であった。水道水源の水では、 $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ の間で相互に正の相関関係が見られた。他にも  $\text{HCO}_3^-$ は、 $\text{F}^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ と正の相関関係が見られ、 $\text{Na}^+$ と  $\text{Mg}^{2+}$ は炭酸塩鉱物の溶出による成分と考えられる。浄化水道水では、水源と概ねよく似た傾向が見られ、また  $\text{HCO}_3^-$ と相関がある  $\text{Ca}^{2+}$ と  $\text{Mg}^{2+}$ は炭酸塩鉱物の溶出による成分と考えられる。

## 4. まとめ

1)  $\text{NH}_4^+$ が存在するような不適切な消毒をして配水することがありうるシステムや、水源から浄水場までの配管からの  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ が溶出の可能性が示唆されることに対して、今後の改善が望まれる。2) 河川水及び池の水では、井戸水、非浄化簡易水道水と比較すると、飲用に適さない値ではなかった。3) 井戸水の各種イオン濃度 (特に、 $\text{Mn}^{2+}$ や  $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 等) は、水道水のそれらと比較して概ね高かった。その原因として、井戸水は、水道水より土壌や畜産排せつ物などの混入、人為的汚染の影響を受けやすいことが考えられる。また、深い井戸水のほうがより汚染されていた。この原因として、もともとその地域の土壌がより汚染されていた可能性と、井戸が深くなるほど汲み上げる過程で不純物が混入しやすくなる可能性が考えられる。4) 井戸水の  $\text{Ca}^{2+}$ や、水道水源の  $\text{Na}^+$ 及び  $\text{Mg}^{2+}$ 、浄化水道水の  $\text{Mg}^{2+}$ 及び  $\text{Ca}^{2+}$ は炭酸塩鉱物の溶出による成分と考えられる。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金 (課題番号：21401003, 代表：春山成子) による支援を受けました。ミャンマーの関係者、ならびに ICP 測定に際し、ご教示を賜った三重大学伊賀研究拠点の紀平征希博士、加藤進教授と計測を行った高木奈緒子さんに深謝致します。

参考文献：1) 赤石布美子・佐竹元吉・大瀧雅寛：2004. ミャンマーの水利用. 生活工学研究 6(2): 210-215.

キーワード：ミャンマー、井戸水、水道水、汚染

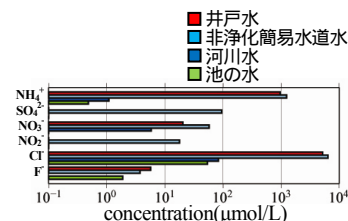


図4 2010年9月の河川水、池の水、井戸水、非浄化簡易水道水の水質  
河川水(No.1,4,5,8,11,12,16,21,23,24,30,36),池の水(No.2,3,28,29),井戸水(No.6,7,10,13,14,15,17,18,19,20,22,25,26,27,32,33,34,35),非浄化簡易水道水(No.9,31,37,38,39)

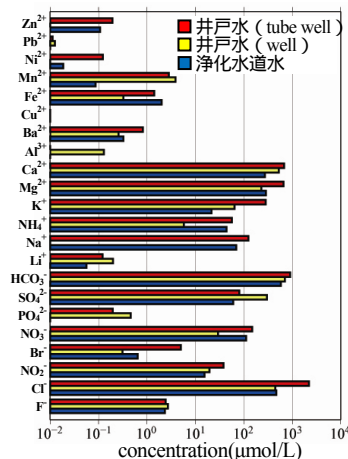


図5 2011年9月の井戸水 (tube well と well) と浄化水道水の水質  
tube well (N0, N1, N4, N5, N7, N8, N9, N10, N12-1, N12-2, N13T, N15, N16T, N17, N18, N20T, N21, N22), well (N2, N6, N11), 浄化水道水 (N3, N13G, N14G, N15G, N16G, N19G, PR1)