

奨励金No.1386

エーヤワディーデルタにおける地下水ヒ素汚染マッピング

阿草 哲郎

熊本県立大学・環境共生学部 教授

Mapping of arsenic pollution in groundwater from Ayeyarwady Delta

Tetsuro Agusa,

Faculty of Environmental and Symbiotic Sciences, Prefectural University of Kumamoto, Professor



本研究は、ミャンマーのエーヤワディ川流域における地下水のAsおよびその他の微量元素汚染の地理的分布を把握するとともに、地下水飲用による地域住民の微量元素の曝露実態と健康リスクを評価した。その結果、地下水からWHOの飲用水の基準値を超過したAs、Mn、Uが検出された。また、AsとMnに関しては、地下水が地域住民の曝露源となっていることが示唆された。さらに、地域住民に地下水飲用に伴う健康リスクが強く懸念された。

This study investigated geographical distribution of As and other trace elements in groundwater collected from Ayeyarwady Delta in Myanmar and evaluated human health risk through consumption of groundwater. As the results, As, Mn, and U concentrations exceeding WHO guideline values for drinking water were detected in groundwater. For As and Mn, it was suggested that groundwater is significant exposure source in local people. Health risk through consumption of groundwater was of great concern in local people.

1. 研究内容

1. はじめに

地下水のAs汚染は、世界各地、とくに途上国で大きな問題となっており、世界保健機関（WHO）の推定では、2億を超える人々が、同機関が定めた飲用水の安全基準値（10 $\mu\text{g/L}$ ）以上のAsを含む地下水を飲用している（WHO, 2008）。実際、地下水の飲用を介して慢性的にAs曝露を受けた人々には、皮膚障害やがんなどの様々な症状が発症している。このことから、世界全体でAs汚染の科学的な手法に基づいた実態調査と代替水源・As除去システムの開発が急務となっている。

発展途上国であるミャンマーでは、上水道が普及しておらず、多くの地域で地下水がそのまま利用されている。その地下水が天然由来のAsで汚染されている可能性がある。ヒマラヤ山脈由来の

完新世の新沖積帯水層はAsの汚染源と考えられており、この地域を起源とするガンジス川やメコン川等の大河流域では地下水のAs汚染が顕在化している。ミャンマーにも、ヒマラヤを起源とするエーヤワディ川（旧イラワジ川）が流れており、地質学的にみてAs汚染が存在することが示唆されている（Winkel et al., 2008）。実際、最近の研究で、同河川流域の地下水から高濃度のAs汚染が存在することが明らかとなった（Bacquart et al., 2015; van Geen et al., 2014）。しかしながら、それらの調査はサンプル数も少なく、また内容も断片的であるため、さらなる検証と広範囲な調査が求められる。また、地下水As汚染地域では、As以外の微量元素による汚染も顕在化しており、複合汚染とその曝露の影響も懸念されている（Agusa et al., 2006）。

そこで本研究は、ミャンマーのエーヤワディ川流域における地下水のAsおよびその他の微量元素汚染の地理的分布を把握するとともに、地下水飲用による地域住民の微量元素の曝露実態と健康リスクを評価した。

2. 試料と方法

2015年12月、2016年12月、2018年12月に、ミャンマーのエーヤワディ川流域中部および南部で地下水（ $n=93$ ）を採取した。採取時に、地元住民から地下水（井戸）の深度、利用歴、利用方法についての情報を得た。また、地下水との比較のため、河川水（ $n=1$ ）、水道水（ $n=11$ ）、ボトル水（ $n=1$ ）もそれぞれ採取した。インフォームドコンセントが得られた地域住民から毛髪（ $n=29$ ）を採取した。各種水サンプルに硝酸を添加後、24元素（Li, Be, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Ag, Cd, In, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi, U）を誘導結合プラズマ質量分析計（ICP-MS）で定量した。毛髪サンプルは、洗浄、乾燥、粉碎、硝酸によるマイクロ波加熱分解後、ICP-MSで微量元素を測定した。飲用水経路の微量元素曝露リスクは、Hazard Index (HI) を用いて推定した（US EPA, 2021）。

3. 結果と考察

分析の結果、水サンプル中のAs濃度は、 <0.01 - $209 \mu\text{g/L}$ であり、水サンプル全体の17%がWHOによる飲用水の安全基準値（WHO, 2008）を超過していた（Fig. 1）。このような地下水のAs汚染は、一定の場所に集中しているわけではなく、エーヤワディーデルタに広範囲に点在していた。興味深いことに、いくつかの水道水からも基準値を超える濃度のAsが検出された（Fig. 1）ことから、水道水であっても安全でないことが確認された。As以外の微量元素に着目すると、MnとUについて、いくつかの地点からWHOの基準値を上回る濃度が検出された。さらに、高濃度のAsと

Mn、AsとUによる複合汚染も顕在化することが明らかとなった。

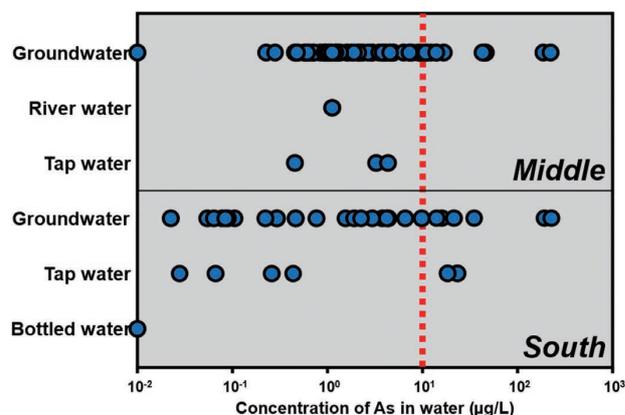


Fig. 1. Concentration of As in water from Myanmar. Dashed line means guideline value for drinking (WHO, 2008).

ヒト毛髪中As濃度は、地下水中As濃度と有意な正の相関があり（Fig. 2）、地下水の飲用がAsの曝露源となっていることが示唆された。また、一部の住民の毛髪中As濃度は、皮膚障害の閾値（Fig. 2）（Arnold et al., 1990）を超えており、As中毒の影響が懸念された。

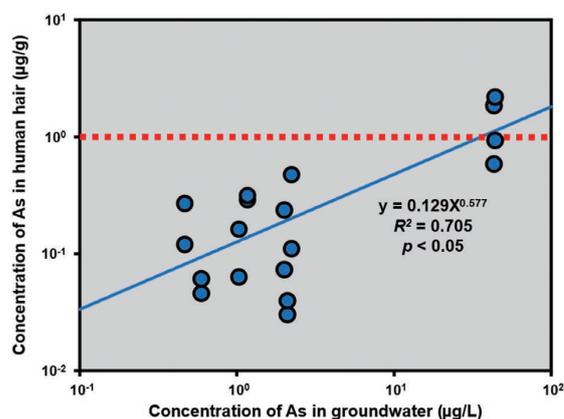


Fig. 2. Relationship between concentration of As in water and human hair from Myanmar. Dashed line means threshold value of skin disorder (Arnold et al., 1990).

Mnにおいても地下水とヒト毛髪濃度の間に正の相関関係がみられた。一方Uについては、有意な相関は認められなかったことから、飲水以外の

曝露源が寄与しているものと推察された。

飲水経路による微量元素の複合曝露のHIは、大人で0.06–50.5、子どもで0.13–113となった（Fig. 3）。またHIが1以上となった割合は、大人で58%、子どもで82%となり（Fig. 3）、その内訳としては、AsとUが大きく寄与していた。以上のことから、調査地域の住民において飲用水を介した微量元素曝露の健康リスクが強く危惧された。

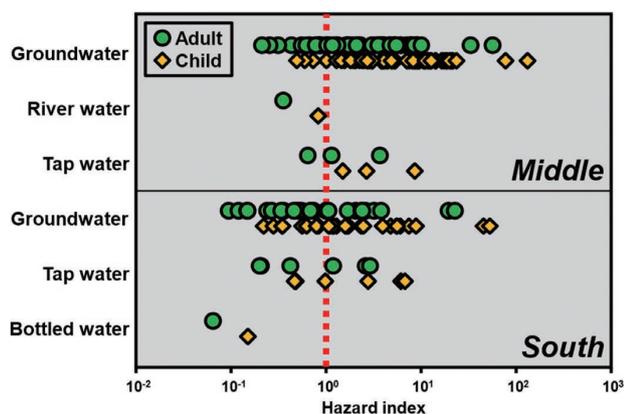


Fig. 3. Hazard index of trace element exposures through drinking water in Myanmar. Dashed line means threshold value for risk.

4. 結論

本研究の結果、ミャンマーのエーヤワディ川流域における地下水からWHOの飲用水の基準値を超過したAs、Mn、Uが検出された。また、地下水を飲用している住民の毛髪中のAs、Mn、U濃度も高く、とくにAsに関しては、ヒ素中毒が懸念されるレベルであった。地下水経路による微量元素の取り込み量は基準値を上回っていた。今後、地域住民の健康影響を評価していくことが課題となった。

5. 参考文献

- Agusa et al., 2006. Environmental Pollution 139, 95–106.
- Arnold et al., 1990. Andrew's Diseases of the Skin: Clinical Dermatology, 8th ed. W.B. Saunders Company, Philadelphia.

- Bacquart et al., 2015. Science of the Total Environment 517, 232–245.
- US EPA, 2021. Regional Screening Levels (RSLs) – Generic Tables.
- WHO, 2008. Guidelines for Drinking-water Quality: Incorporating First and Second Addenda to Third Edition. Vol. 1, Recommendations. Geneva.
- Winkel et al., 2008. Nature Geoscience 1, 536–542.
- van Geen et al., 2014. Science of the Total Environment 478, 21–24.

2. 発表（研究成果の発表）

- 阿草哲郎、村上里佳子、木村明日香、Ei Ei Mon、Myo Myint、中田晴彦、ミャンマーにおける地下水微量元素汚染とヒトへの健康リスク。環境化学物質3学会合同大会（第30回環境化学討論会、第24回環境ホルモン学会研究発表会、第26回日本環境毒性学会研究発表会）、富山、2022年6月13日～16日、要旨集 p. 356–357.