信州大学アクア・イノベーション拠点

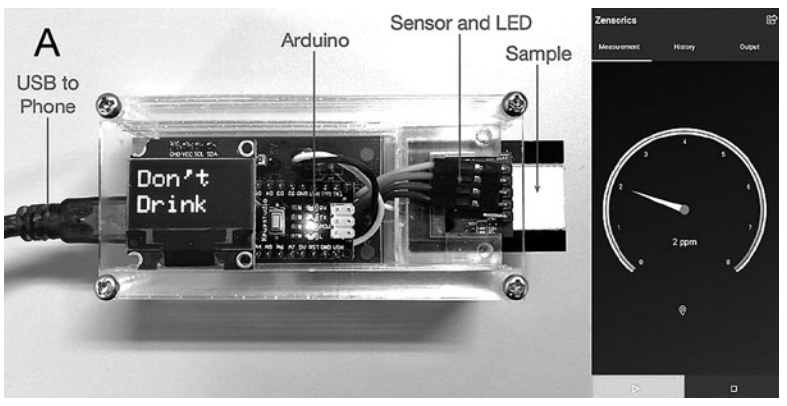
フッ素汚染水飲用問題の解決へ

タンザニアの都市アルーシャで

布素材活用した計測センサ開発

現地調査で混入メカニズム解明

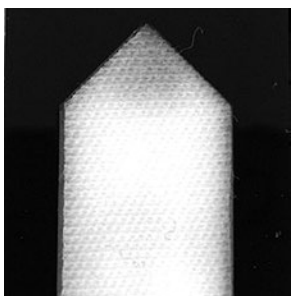
産学官連携プロジェクトの信州大学アクア・イノベーション拠点（COI）は、革新的な造水・水循環システムの実用化による全世界での生活レベル向上を目指し、活動を進めている。2018年からは、高濃度のフッ素が含まれる水の飲用に伴う健康被害が頻発しているタンザニアの都市アルーシャをフィールドに、フッ素濃度計測センサの開発や、汚染実態の現地調査などを実施。これらの研究については今春、アメリカの著名な科学雑誌「ACS Sensors」で紹介されるなど、国内外で注目を集めている。そこで、研究チームを主導した信州大学繊維学部の木村睦・教授にフッ素センサの仕組み、同大学工学部の中屋眞司・特任教授に現地調査の内容について、話を聞いた。



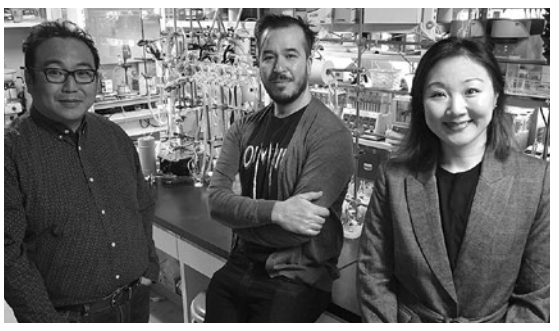
スマホを活用し飲料水の安全性を判定するセンサ

フッ素センサは、混入水に浸すとフッ素濃度に応じた変化が得られる2種類の布素材を開発し、その変化を簡易デバイスでスマートフォンに読み取ることで、飲料水の安全性を判定するもの。木村教授は「繊維産業が根付く現地で生産可能な布素材の活用により、地元主体での安全な水の確保に道を開いたことが大きな成果だと考えている。布素材は、製品化の過程で廃棄する綿を用いて作成することで、持続可能なものにできた」と、手応えを語る。

2種類の布素材は、光に反応する金属と有機物が連結したものと、色に反応する三角形に近い形状のものを開発。光の素材は、スポンジを模して隙間を意図的に配置することで、フッ素が浸透しやすくなるように工夫した。判定スピードの向上につながり、WHO基準で安全な飲料水とされた、1・5ppm以下の低濃度のフッ素まで正確に判定できるようになった。


フッ素に絞り反応可能で長寿命な三角形の布素材

色の素材は、三角形に加工したことでフッ素が素材に濃縮し、フッ素に絞って反応できるようになった。当初はフッ素以外の物質にも反応してしまい、2カ月程度で寿命になる短命さが課題だったが、加工に伴い数カ月程度の長寿命化に成功。今回は現地事情を受け、フッ素を対象としているが、布素材の加工により、様々な化学物質の判定にも応用できる。


木村教授（左端）と研究メンバー

さらに、簡易デバイスの開発と、データをスマートフォンに蓄積可能にした点を特長に挙げる。布素材とスマートフォンを接続するデバイスは、200～300円程度の安価で単純な構造となっており、仕様をオープンソース化するなど、現地で手軽に作成できるようにした。木村教授が現地を初めて訪れた際に、皆がスマートフォンを持ち歩き、日本とほとんど変わらない良好な通信環境が整備されていたことに衝撃を受けたことが、スマートフォン活用のきっかけだという。

「スマホに読み取った水質情報を、ビッグデータとして集積できるようになるとともに、現行の事業体主体での水道水質検査と併せ、住民参加型での検査も可能になる。住民の水道への関心を高められることに加え、様々な給水末端での水質情報が手に入るので、浄水処理方法の選定などに生かせるのでは」と、木村教授はメリットを話す。

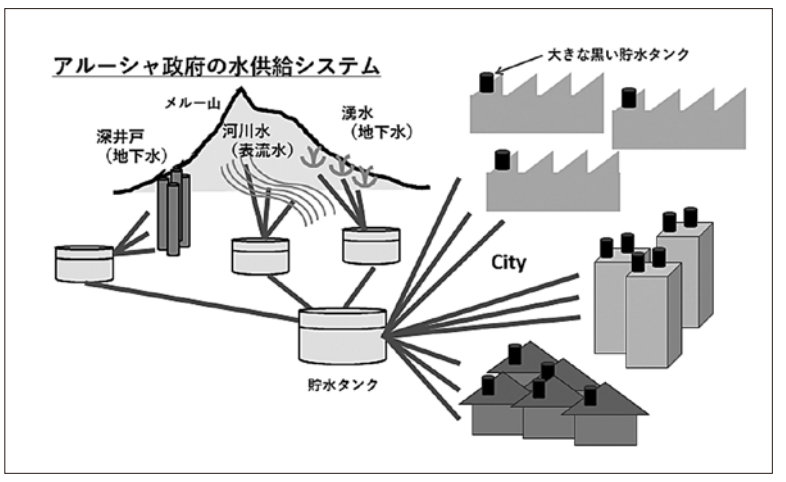
今後は、ケニアで現地機関や大学との共同研究に着手する予定。ケニアでは重金属による飲料水の汚染が深刻化していることを受け、重金属にも対応したセンサの開発を進めていく。

最後に、木村教授は「飲料水のフッ素汚染の実態をほとんどの住民が認知していないことが、対策を進める上で大きなネックとなっている。水インフラの整備には時間がかかる。一時的な措置でセンサを使用し、リスクの回避と認知を実現してもらうことで、最終的には現地での水道整備につなげてもらえたら」と語る。

◇

続いて、中屋特任教授による現地調査の内容に話を移すと、現地の水事情とフッ素汚染の実態を明らかにする狙いで、2020年3月までに計5回の調査を行った。調査場所のアルーシャは、アフリカ大陸最高峰キリマンジャロ山西隣のメルー山の麓に位置する都市で、人口は約100万人。雨季と乾季が極端な気候で、乾季になると表流水が干上がることから、主な水道水源は標高約1500㍍地点に掘削した20本程度の深井戸。メルー山周辺の地下水のフッ素濃度は平均5㎎／Lとなっており、日本の水道水質基準の0・8㎎／Lを大幅に超過している。

現地の水道水は、その主要水源の深井戸に、少量の河川表流水と湧水を混入させて水量を確保し塩素消毒した後、貯水槽を経て給水している。だが、各水源に混入する高濃度のフッ素は、塩素消毒で除去できておらず、汚染水の供給が常態化している。



汚染水の供給が常態化する現地の水道システム

具体的な調査内容としては、前段階として水質調査でメルー山周辺の地下水中のフッ素混入の有無と濃度を明らかにした上で、地下水流動の実態解明に取り組んだ。酸素と水素の安定同位体比の測定を通して涵養源を把握するとともに、水中に含有するガス物資を計測し地下水の滞留時間と流動経路を導き出した。

その結果、地下水中のほとんどに高濃度のフッ素の混入が認められるとともに、滞留時間が長期化するほど、フッ素濃度が上昇することが判明。滞留時間の長期化に伴い、地下水とメルー山周辺の高アルカリ性の岩石との接触時間が増加し、岩石中のフッ素が地下水中に溶出しやすくなることが理由との見方を示す。

研究メンバーと中屋特任教授（右端）

その一方、滞留時間が20年以内の地下水でも、長期のものに比べて高濃度のフッ素と溶存酸素が確認されるなど、一般的な傾向とは異なる結果となった。井戸水の過剰汲み上げなどの人為的影響により、岩石の化学風化が促進されるとともに、鉱物中のフッ素が酸化分解され、地下水中に溶出されやすい環境が構築されたことが背景にある。

高濃度のフッ素が混入する主要水源の深井戸

中屋特任教授は研究結果について、「高濃度のフッ素汚染水の一般的な発生メカニズムと、直近20年の比較的新しい地下水で高濃度になる特異な傾向を解明できた。そうした汚染実態に加え、調査で得られた地下水流動の実態に関する知見も併せて成果をまとめることで、現地政府が対策を考えるきっかけとしてもらえたら」との考えを示す。

地下水の現地調査

こうしたフッ素汚染の実態を受け、現地で講じるべき対策は、給水末端での対策が有効だとする。飲用と料理用以外の用途での水使用で、フッ素汚染は殆ど健康被害を生じさせないからだという。

「末端部以外の対応では、隣接するキリマンジャロ山周辺のフッ素濃度が低い地下水と河川水を、水路などを整備しアルーシャに導水することも一つの手段だが、水道水の浄水フローに信大COIで開発中の逆浸透膜を加えることと同様に、水供給コストが上昇し住民負担が増す恐れがある。貧困層への料金減免措置などを備える現地の水道は、公共性が非常に高い。水道事業の範疇で対策を講じることが重要なのでは」と中屋特任教授は指摘する。

具体的な給水末端での対策については、安価で維持管理の容易な除去装置を蛇口に設置することで、飲用と料理用のみの濃度低下を図ることが得策だとする。除去装置の例には、信大COIで同大学の手嶋勝弥・工学部教授が開発した浄水デバイスの活用を挙げる。このデバイスは、無機結晶育成技術のフラックス法で作成した結晶材料「信大クリスタル」の高度な金属イオン除去性を生かし、効果的にフッ素を吸着し濃度を低下させられる特長を持つ。電源なども不要で、洗浄して何度も使用でき、維持管理が容易で安価なため、現地ニーズに合致しているとする。

現地のフッ素汚染水飲用問題の解決策としては、学校をフッ素教育の拠点とすることを提言する。フッ素は特に、成長期の子どもの骨に蓄積し健康被害を招くが、現地では多くの学校関係者が汚染実態を知らず、高濃度のフッ素水を子供に飲ませている状況。手嶋教授の除去デバイスを蛇口に設置するとともに、木村教授のセンサを授業で活用するなどして、将来を担う子どもの意識を高めていくことが有効だとする。

最後に、中屋特任教授は、日本の水道関係者に向けて「フッ素汚染の実態をさらに解明し皆さんに伝えていくので、世界一の日本の水道の技術力を生かした新たなアイデアの提供など、若い人に協力してもらえたら」と呼びかけた。