

綿を利用したフッ素イオン濃度計測方法を確立 ～現地化可能な技術でSDGsに貢献～

発表者；木村睦・教授（COI サブ研究リーダー・先鋭材料研究所(RISM)・繊維学部）
中屋眞司・教授（工学部）

1. 発表のポイント

- ◇加工したコットン布をフッ素汚染水に漬けるだけでフッ素イオン濃度に応じた色変化が得られ、色変化を画像処理しスマートフォンで読み取ることで飲料水の安全性を判定できるシステムを確立しました。
- ◇フッ素汚染で苦しむアフリカ東部でも入手可能な材料および電子部品でシステムを構築でき、さらに成果を Open Source 化（誰でも利用、修正、頒布可能とすること）し現地での社会実装を加速します。
- ◇本研究成果は、アメリカ化学会誌「ACS Sensors」の電子版に2021年1月8日付(米国時間)で公開されました。



図1 成果のイメージ図

2. 発表の概要

2017年までの目標6.1の進捗をモニターした世界保健機構（WHO）・国連児童基金「水と衛生 進歩と格差」は、世界で未だ10人に1人にあたる7億8,500万人が、村落部では10人に8人が“基本的サービス”を受けられないと報告されています。目標6.1の評価指標は、“アクセス時間”、“入手可能性”、“水質”の3項目から成る。“水質”で特に問題なのは、ヒ素とフッ素の2つの自然由来の化学物質です。その健康被害統計値はないものの、世界でおおよそ、ヒ素は1.4億人に、フッ素は2億人に、健康被害を与えていると推定されています。

過剰フッ素の摂取は斑状歯や骨の奇形をもたらす骨フッ素症等の重篤な健康被害を引き起こします。フッ素摂取の主経路は飲料水であるとの研究結果から、WHOは飲料水のフッ素濃度水質基準を1.5 mg/Lに設定しています。しかし、フッ素濃度の高い水は深い地下水によくみられ、その世界分布は図2のとおり世界各地に分布します。アフリカ大地溝帯は特に高濃度のフッ素の地下水や湖沼が存在します。

フッ素汚染地域で安全な代替水源が近くにない場合、フッ素除去が必要になります。動物の骨を炭化させた骨炭にフッ素を吸着させる方法が研究され、タイ、エチオピア、ケニア、タンザニアで利用実績があります。しかし、フッ素除去性能は骨炭の質に大きく左右され、また、高品質な骨炭の製造は窯の温度管理が難しいため小規模生産しかできていません。また、これらの地域では人口が急増しているため、新規井戸を掘削しても高濃度フッ素が検出されます。このような場合、過剰フッ素イオンを含む地下水利用を断念し、既存井戸からさらに多くの量の地下水を揚水します。これを続けると、いずれ地下水資源が枯渇し、女性や子供が遠方まで水汲に行く問題が生じています。もうひとつは、過剰フッ素水は見た目では透明で清浄な水に見えるため、地元民の知識不足もあり、過剰フッ素水を飲料に用い、その結果フッ素症が発生します。

信州大学アクア・イノベーション拠点では、2018年から中屋教授を中心としたタンザニア アルーシャ地域での水資源とフッ素汚染の現地調査、手嶋教授（工学部・RISM 所長）による骨炭に変わる無機結晶による高性能フッ素吸着材料の現地対応型生産技術開発、木村教授によるフッ素汚染を可視化し安全・安心を担保できるフッ素センサ開発を、タンザニア ネルソンマンデラ大学（信州大学とMOU 締結）と水省フッ素除去研究所と協同して行ってきました。今回の発表は、このうち現地調査とフッ素センサ開発に関する成果です。

タンザニアでは、オーガニックコットンの生産が盛んなため、フッ素イオンセンサの素材として現地で入手しやすい綿（コットン）を基材とすることとしました。そこで、チオシアンイオンとフッ素イオンに対する鉄錯体形成における競争反応での色変化をコットン布の上で実現しました

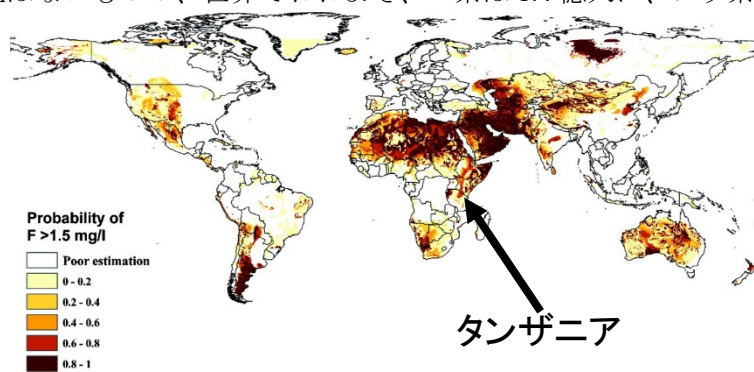


図2 世界のフッ素濃度 WHO 飲料水基準値以上の地下水分布 (Amini ら, 2008)

(図3)。コットン布の形状およびチオシアンイオンと鉄イオン溶液の配置位置などを最適化し、図に示すような色変化を得ることができました。

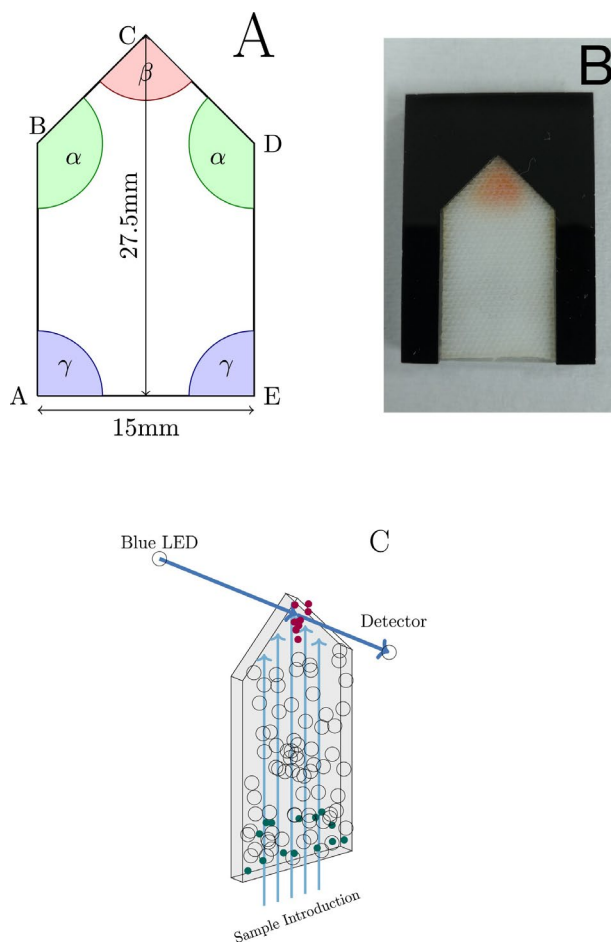


図3 フッ素イオン濃度によって色変化するコットン布 (A: 三角形にカットすることにより色変化範囲を決めることができる。B: 実際の写真 (フッ素イオン濃度に従って赤色の濃さと範囲が変化。C: LEDを使った色濃度測定方法)

次に、フッ素イオン濃度と色強度および着色面積との相関を計測したところ、良好な直線関係が得られ、これらの解析によってフッ素濃度検出が可能であることを見出しました。また、現地では日本とほぼ同等の通信環境が整備され、多くの方がスマートフォンを利用していました。そこで、図4に示す読み取り装置とスマートフォンアプリを開発しました。これを用いてフッ素濃度測定を行ったところ、良い直線関係が得られました。さらに、フッ素イオン以外の負電荷と正電荷を持つイオンを混合して色変化を測定したところ、臭素と亜鉛イオン以外であれば、100倍以上の濃度が混合しても混合しない場合と同じ変化となり、フッ素イオンへの高い選択性を確認しました。

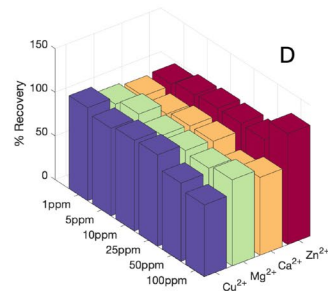
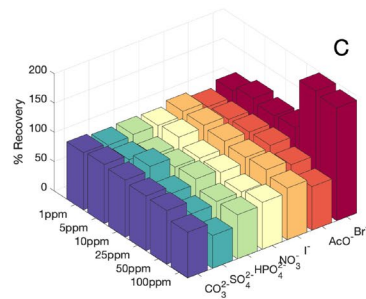
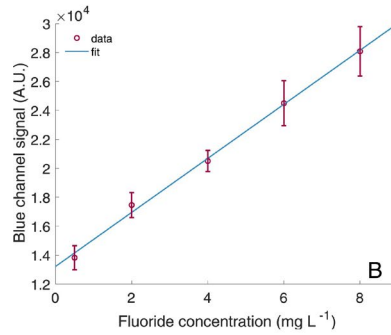
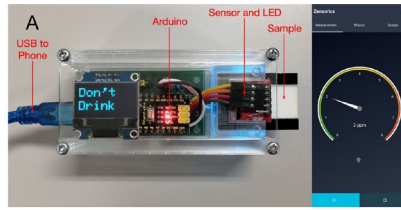


図4 A: スマートフォンに接続し色変化を読み取るための装置とスマホアプリ。B: 装置によって読み取ったフッ素濃度依存性。CとD: フッ素イオン1ppmを含む水に他の妨害イオンを加えた時の着色への影響（高濃度の臭素イオンと亜鉛イオンでは影響を受ける）

中屋教授グループがタンザニア アルーシャ地区で採取した水を用いフッ素濃度測定を行ったところ、イオンクロマトグラフィーで得られた結果とほぼ一致しました。また、得られた結果を図5Cのように地図の中に表示することも可能です。

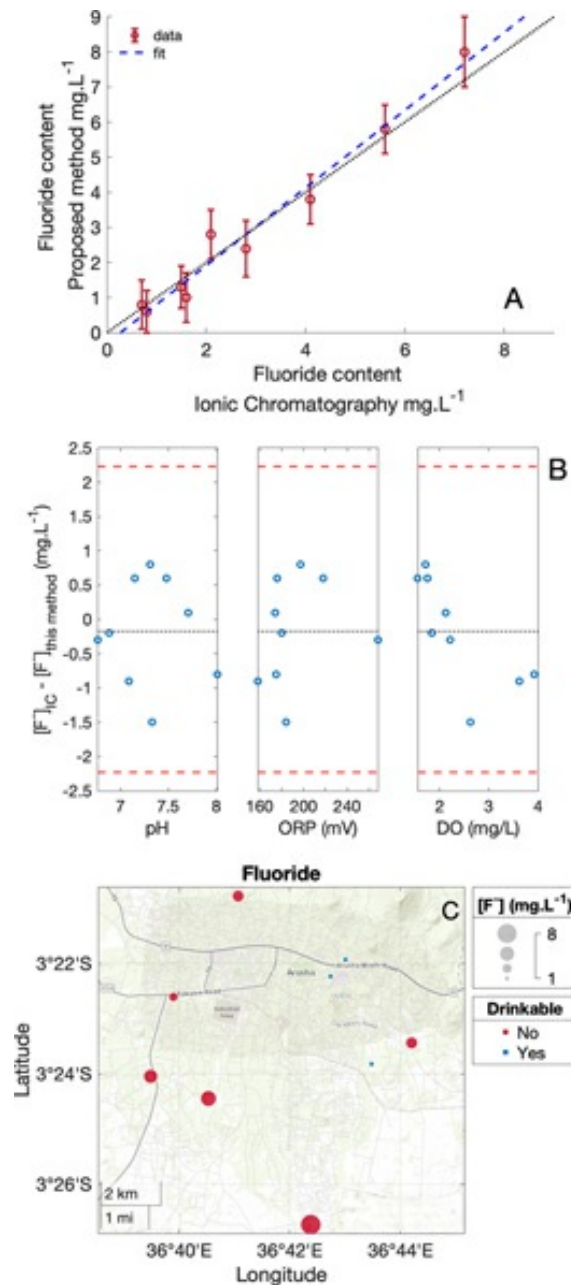


図5 A: タンザニアの採取水を用いた分析装置と本技術での計測結果の相関。B:採取水の pH, ORP, DO 値 C: 得られたフッ素濃イオン度を地図中に表示

現地で入手可能な素材と低コスト電子部品（読み取り装置に使った部品代 3000 円以下）を用い、飲料水中のフッ素イオン濃度計測が可能なることを見出しました。また、スマートフォンとの連携により、計測結果を地図上で共有でき、地域住民が飲料水の安全・安心情報にアクセスできるサービスの構築が期待できます。手嶋教授が開発中のフッ素吸着材とともに、今後は、現地パートナーとともに東アフリカ地域での社会実装に向けた取り組みを加速していきます。

3. 発表の背景

この研究成果は、科学技術振興機構（JST）が推進するセンター・オブ・イノベーション（COI）プログラムの「世界の豊かな生活環境と地球規模の持続可能性に貢献するアクア・イノベーション拠点」**の中核拠点として、「活気ある持続可能な社会を構築する」という将来ビジョンに向け、信州大学などが取り組む革新的な造水・水循環システムの構築を目指す研究の一環で得られた成果です。

今回の成果は COI プログラムで研究開発してきた成果の社会実装による SDGs への貢献を目指し、2018 年から開始した研究から得られたものです。COI 拠点に属する研究者がタンザニアに行き飲料水に関する状況を自分の目で見て、抱える問題を解決するために現地の研究者らとともに研究を進めてきました。現地で受け入れられる科学技術による社会変革を目指し、今後も COI プログラムの成果を安全・安心な飲料水確保に困っている地域に展開し、世界の水に関わる課題解決（特に、SDGs 目標 6 すべての人々に水と衛生へのアクセスと持続可能な管理を確保する）に貢献していきます。



今回のフッ素センサは、現地で確保可能なコットンと従来技術であるテキスタイル加工・染色技術を利用した布センサと Open Source 化した読み取りデバイスによって、見た目にはわからない飲料水中のフッ素イオン濃度を判定する手段を提供することができます。さらに、スマートフォンとの連携によって多くの人々が飲料水の安全・安心に関する情報を共有でき、フッ素汚染に苦しむ地域でのフッ素症の発生の抑制を期待しています。

* ACS Sensors

Eugenio H. Otal, Manuela Leticia Kim, Steffen Dietrich, Ryogo Takada, Shinji Nakaya, Mutsumi Kimura, “Open-Source Portable Device for the Determination of Fluoride in Drinking Water”, ACS Sensors, DOI. Org/10.1021/acssensors.0c02273

** センター・オブ・イノベーション(COI)プログラム

科学技術振興機構（JST）による公募型研究開発プログラムの 1 つです。将来社会に潜在する課題とあるべき社会の姿、暮らしの在り方を見据えたビジョンに基づき、企業だけでは実現できない革新的なイノベーションを創出すると共にイノベーションプラットフォームを整備することを目的として、産学連携による研究開発に取り組んでいます。

信州大学は、ビジョン 3「活気あふれる持続可能な社会の構築」の 1 つで、「世界の豊かな生活環境と地球規模の持続可能性に貢献するアクア・イノベーション拠点」の中核機関です。

- ・プロジェクトリーダー(PL) 大西真人 (日立製作所)
- ・研究リーダー(RL) 遠藤守信 (信州大学特別荣誉教授)
 - 《中核機関》国立大学法人信州大学
 - 《中心企業》(株)日立製作所、東レ(株)
 - 《サテライト機関》国立研究開発法人理化学研究所
 - 《共同実施機関》一般財団法人高度情報科学技術研究機構、昭和電工株式会社、北川工業株式会社、トクラス株式会社、栗田工業株式会社、株式会社 LIXIL
 - 《COI-S 機関》国立研究開発法人海洋研究開発機構
 - 《共同実施機関》学校法人中央大学
- ・研究開発期間 平成 25 年度～令和 3 年度(予定)

4. お問い合わせ先

〈研究に関すること〉

木村 睦 アクア・イノベーション拠点サブ研究リーダー

繊維学部化学材料学科教授

先鋭領域融合研究群先鋭材料研究所ウェアラブルナノ材料研究部門 部門長

TEL・FAX 0268-21-5499

E-mail mkimura@shinshu-u.ac.jp

中屋 眞司 信州大学工学部水環境・土木工学科教授

TEL 026-269-5316

FAX 026-269-5271

E-mail: nakayas@shinshu-u.ac.jp

〈プロジェクトに関すること〉

田中 厚志 アクア・イノベーション拠点研究推進機構・副機構長 (戦略支援統括)

先鋭領域融合研究群先鋭材料研究所教授

TEL 026-269-5766 or 5747, FAX 026-269-5710

E-mail attanaka@shinshu-u.ac.jp