

平成 22 年 6 月 8 日現在

研究種目： 基盤研究 (B)
 研究期間： 2007 ~ 2009
 課題番号： 19404013
 研究課題名 (和文) アジア開発途上国におけるフッ素による地下水汚染のリスク評価と対策技術の開発
 研究課題名 (英文) Risk assessment of fluoride in groundwater in Asian countries and development of countermeasure technologies
 研究代表者
 滝沢 智 (TAKIZAWA SATOSHI)
 東京大学・大学院工学系研究科・教授
 研究者番号： 10206914

研究成果の概要 (和文)：

タイのチェンマイ盆地にあるランブン県では、フッ素を含有した地下水を利用することにより健康被害が顕在化している。本研究では、地下水中のフッ素濃度の把握、健康被害の現状、フッ素の主な摂取経路、及び対策としての低圧逆浸透膜法の評価を行った。その結果、フッ素を含む地下水は広い範囲に広がっており、地下水中のフッ素の最高濃度は 16.1mg/L であった。また、飲料水についてはボトル水への切り替えが進んでいるが、生徒児童の尿からは高濃度のフッ素が検出された。その理由を調べたところ、多くの家庭で炊飯にフッ素を含む地下水を用いており、米飯から多量のフッ素が摂取されていることが明らかとなった。フッ素の除去対策として、現地で普及している逆浸透膜 (RO) プラントを調査したところ、フッ素の除去率は高いが、前処理などが適正に行われていない施設が多かった。地下水に含まれるカルシウムやシリカは膜汚染の原因となり、膜透過流束を低下させるが、その時のフッ素除去率の変化は、汚染の状態により上昇または低下することが実験並びに理論解析により明らかとなった。

研究成果の概要 (英文)：

People living in Lamphun Province in the Chiang Mai Basin, Thailand, are suffering from fluoride intake from groundwaters. In this study, fluoride concentration in the groundwaters, the current status of health effects, and fluoride intake were investigated. Ultra-low-pressure reverse osmosis membranes were used to remove fluoride from groundwaters. It was revealed that fluoride-laden groundwater is widely distributed in Lamphun Province, and the maximum concentration was 16.1 mg/L. Although their drinking water has been switched from groundwater to fluoride-free bottled water, high fluoride concentration was detected in their urine samples. Since their families still use groundwater for cooking, it was found that cooked rice was the major intake source of fluoride. When the local reverse-osmosis membrane plants were investigated, it was found that fluoride was removed by these facilities, but most of the pre-treatment processes were not functioning. Both calcium and silica cause membrane fouling and bring down the permeability, but the removal rates of fluoride went up or down depending on the condition of membrane fouling.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
総計	13,000,000	3,900,000	16,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：フッ素、地下水、健康リスク、フッ素歯牙症、地理情報システム、膜汚染、シリカ

1. 研究開始当初の背景

アジア地域ではおよそ 10 億人が地下水を飲料水の唯一の水源として利用していると言われている。地下水中のフッ素は、ヒ素と並んで大きな健康被害をもたらしている。その数は、インドで 6000 万人以上、中国では 2000 万人以上と言われ、アジアでは 1 億人以上がフッ素による健康被害を受けていると推定されている。

タイのチェンマイ盆地にあるランブーン県は、住民が地下水を主な水源として利用しているが、フッ素による健康被害が広がっている。このため、健康被害の現状を把握し、被害の拡大を防止することが求められている。

2. 研究の目的

アジア地域におけるフッ素による地下水汚染は拡大しつつあるが、被害人口、将来の被害の拡大予測についてはいまだに正確に把握されていない。本研究では、特に経済成長と人口増加が著しいアジア諸国におけるフッ素汚染問題の現状を明らかにするとともに、主な摂取経路を明らかにし、フッ素摂取のリスクを評価する。また、地下水中のフッ素対策としての低圧逆浸透膜法を開発し、特に膜汚染がフッ素除去に与える影響を調べることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 地下水中のフッ素によるリスク評価

① 地下水中のフッ素濃度分布

ランブーン県の水道水源となっている 133 か所の深井戸から地下水サンプルを採取し、フッ素濃度並びに、主要イオンなどの水質を測定した。

② 児童のフッ素歯牙症と尿中のフッ素濃度

児童のフッ素摂取の状況を観測するため、129 人の生徒に尿サンプルを持参してもらい、尿中のフッ素濃度を分析した。同時に、歯科医師により、Dean's Index に基づいてフッ素歯牙症の診断を行った。

③ お米によるフッ素の吸収

実験は異なる濃度のフッ素を含んだ純水中に所定時間お米を浸して、お米に含まれたフッ素を分析した。また、ランブーン県で採取したお米についてもフッ素含有量を分析し、同時に、お米の炊飯まぜに浸した水を手し、

フッ素濃度を分析した。

(2) 地下水中のフッ素対策技術としての超低圧逆浸透法の開発

① 現地の逆浸透膜プロセスの評価

ランブーン県にある約 10 か所の逆浸透膜施設をおとずれ、地下水、前処理水、膜ろ過水などの水質を分析した。

② 膜汚染がフッ素除去率に与える影響の解析

ランブーンの地下水を採水し、逆浸透膜（東レ UTC-70U）により膜ろ過実験を行った。

4. 研究成果

(1) 地下水中のフッ素によるリスク評価

① 地下水中のフッ素濃度分布

図 1 にフッ素濃度と逆浸透膜ろ過プラントの分布を示す。タイの飲料水水質基準である 0.7mg/L 以上のフッ素を含有する地下水はランブーン県北部の平地に広く分布し、最高濃度は 16.1mg/L であった。

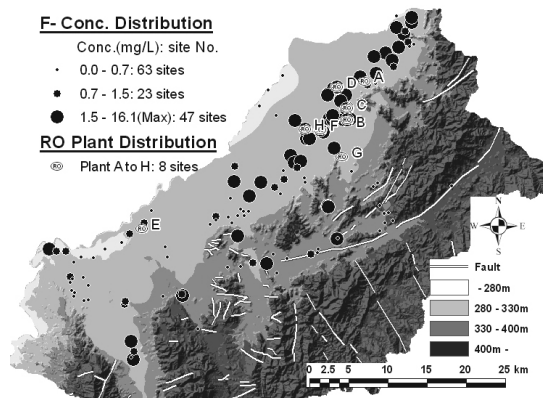


図 1 フッ素濃度と膜ろ過プラントの分布図 (A~E)

② 児童のフッ素歯牙症と尿中のフッ素濃度

図 2 にフッ素歯牙症の診断結果と、尿中のフッ素濃度の関係を示す。尿中のフッ素濃度は最大で約 12mg/L であり、尿中に排泄されるフッ素は約 50%であるとの報告によると、この生徒は極めて多量のフッ素を摂取しているものと考えられた。また、大半の生徒が尿中のフッ素濃度 1~2 mg/L であったのに対して、Dean's Index が高い生徒は、尿中

のフッ素濃度も高濃度であった。

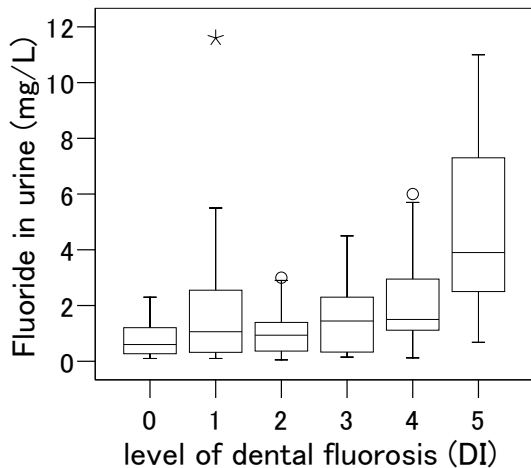


図2 フッ素歯牙症の診断結果と尿中のフッ素濃度の関係

③ お米によるフッ素の吸収

図3に、お米によるフッ素の吸収実験の結果を示す。お米の浸漬時間24時間で分析したデータを見ると、ほぼ直線状に乗っており、お米の中にフッ素が移行し、その含有量は水中のフッ素濃度に比例している。48時間浸漬したデータは1点しかないが、24時間浸漬した後のフッ素含有量よりもやや高めであった。また、ランプン県で得たお米のサンプルは、水中のフッ素濃度との関係が一樣ではなく、ばらつきが見られた。この原因としては、家庭によってお米の浸漬時間や炊飯時間が異なることや、浸漬・炊飯に異なる水を用いていることが考えられた。いずれにせよ、水中のフッ素は高い割合でお米に吸収され、これがフッ素の主な摂取源となっていることが考えられた。

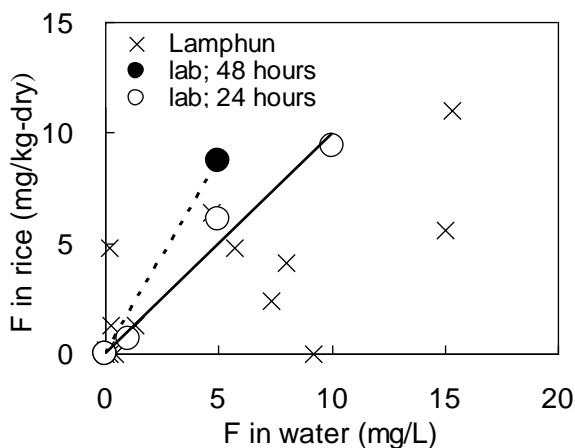


図3 お米によるフッ素の吸収

(2) 地下水中のフッ素対策技術としての超低压逆浸透法の開発

① 現地の逆浸透膜プロセスの評価

フッ素除去率はいずれも90%以上と高かった。しかし、前処理のイオン交換では、膜汚染の原因となるCaがほとんど除去されず、所定の能力を発揮していないことが明らかとなった。

② 膜汚染がフッ素除去率に与える影響の解析

図4に、低压逆浸透膜を用いた実験の結果を示す。用いた地下水サンプルは、村落水道の原水2か所(ST1-3とST5-3)、及び地域に沸いている温泉水(HS1)であった。これらの中で、温泉水は強アルカリ性であり、シリカなどが含まれることから、もっとも早く膜汚染を引き起こした。その他の地下水は、汚染は僅かであったが、FT-IRにより観察すると、汚染が見られた。これらの実験において、膜汚染とフッ素の除去率との関係を探ると、フッ素除去率が上昇しているものと低下しているものがあった。実験により、このような違いが生じるのは、汚染層の密度と関係があることが示された。

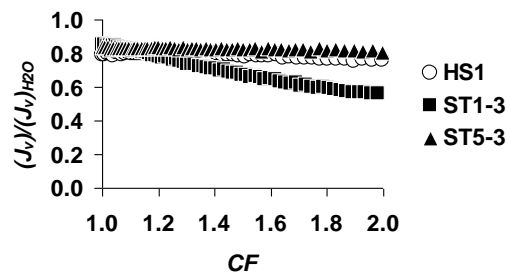


図4 低压逆浸透膜によるろ過実験結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6件)

- ① Takizawa, S., Takeda T., Wongrueng A., Wattanachira S., Child-education program for the reduction of health risks due to fluoride in water sources in the Chiang Mai Basin, Water Science and Technology, 査読有, Vol. 61, No. 9, 2010, 2391-2397
- ② Takeda T., Wongrueng A., Takizawa S., Choompolkul W., Chaimngkol S., Wattanachira S., Assessment of fluoride intake, excretion, and health effects in Chiang Mai Basin, Thailand, Southeast Asian Water Environment, 査読有, 3, 2009, 81-86
- ③ Takeda T. and Takizawa S., Reducing the impact of fluoride intake in Thailand, Asian Water, 査読なし, December 2008,

pp. 22-26.

- ④ Wongrueng, A., Takizawa, S., Matsui, Y., Oguma K., Wattanachira, S., Analysis of ULPRO membrane fouling used for groundwater defluoridation, Environmental Engineering Research, 査読有, Vol. 45, 2008, pp. 613-620.
- ⑤ Wongrueng, A., Matsui, Y., Takizawa, S., Wattanachira, S., Groundwater defluoridation by Ultra Low Pressure Reverse Osmosis Membrane, Proceedings of the International Symposium on Southeast Asian Water Environment, 査読有, 5, 2007, 160-167
- ⑥ Takeda, T., Wongrueng, A., Takizawa, S., Choempolkul, W., Chaimongkol, S., Wattanachira, S., Assessment of fluoride intake, excretion, and health effects in CHaing Mai Basin, Thailand, Proceedings of the International Symposium on Southeast Asian Water Environment, 査読有, 5, 2007, 9-15

[学会発表] (計 4 件)

- ① 甲斐 莊 秀生、Aunnop Wongrueng、徳永 朋祥、滝沢 智、林 武司、タイ王国ランブーン市の地下水中フッ化物イオンの起源、日本地球惑星科学連合 2010 年大会、2010.
- ② Kainosho H, Wongrueng A, Tokunaga T, Takizawa S, Hayashi T, Wattanachira S, Mogi K, The processes controlling fluoride contamination in groundwater, Lamphun Province, Thailand, International Symposium on Efficient Groundwater Management (IGS-TH), 2009 年 2 月 17 日, バンコク市 (タイ)
- ③ Takeda, T., Wongrueng, A., Takizawa, S., Choempolkul, W., Chaimongkol, S., Wattanachira, S., Estimation of fluoride intake sources and fluorosis among the population living in the Chiang Mai Basin, Proceedings of the XXVIIth Conference of the International Society for Fluoride Research, 査読有, 27, 2007, 12-13
- ④ 松井康弘、滝沢 智、Aunnop Wongrueng、NF 膜を用いた地下水中のフッ素除去の課題、第 41 回日本水環境学会年会講演集、2007、p. 49.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

滝沢 智 (TAKIZAWA SATOSHI)
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号：10206914

(2) 研究分担者

徳永 朋祥 (TOKUNAGA TOMOCHIKA)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・
准教授
研究者番号：70237072
(H19→H20：連携研究者)

小熊 久美子 (OGUMA KUMIKO)
東京大学・大学院工学系研究科・講師
研究者番号：00361527