

平成22年5月17日現在

研究種目： 若手研究 (B)  
 研究期間： 2008 ~ 2009  
 課題番号： 20760354  
 研究課題名 (和文) バングラデシュ地下水ヒ素汚染地域におけるヒ素摂取量評価と改善効果の定量的評価  
 研究課題名 (英文) Estimation and improvement of arsenic intake of a population living in arsenic-affected area in Bangladesh  
 研究代表者  
 大野 浩一 (OHNO KOICHI)  
 北海道大学・大学院工学研究科・助教  
 研究者番号： 00322834

研究成果の概要 (和文)： バングラデシュの井戸水ヒ素汚染地域の集落において、飲料水だけではなく調理用水にもヒ素濃度の低い水を使用してもらった結果、食品からのヒ素摂取量が減少し、とくにご飯からのヒ素摂取量が減少した。また、バングラデシュにおいては炊飯時だけではなく精米時にも水を使用する。精米実験の結果、精米用水においてもヒ素濃度を減少させることにより、コメへ移行するヒ素の量を低減できることが示された。その際、ヒ素汚染井戸に含まれている場合が多い鉄を用いた、ヒ素の共沈除去が比較的有効であると示唆された。

研究成果の概要 (英文)： Arsenic concentration not only in drinking water but also in cooking water could affect the arsenic intake. We provided cooking water that contain low arsenic to local people, and found that arsenic intake via food, especially via rice, was decreased. In Bangladesh, they use water for polishing rice as well as for cooking. We found that arsenic in the water used for polishing rice also affected the arsenic content in the rice. Generally, arsenic-contaminated well water also contain iron and the iron could co-precipitate with arsenic. The application of this co-precipitation process can reduce the arsenic concentration in polishing water and thus in polished rice.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野： 環境工学

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： 水環境、曝露評価

## 1. 研究開始当初の背景

1970年代のバングラデシュでは、衛生設

備の不足と人口の増加によって主な生活用水源となる河川などの表流水の汚染が進み、

水系感染症の蔓延による死亡率の増加が深刻な問題となっていた。この問題を解決するため、国際機関や NGO などの援助によって国内の全土におよそ 400 万本の管井戸(tube well) が建設された。微生物汚染のない tube well を飲料水源とすることによって特に乳幼児の死亡率が減少し、水に関する衛生問題は解決したように思われた。しかし 1993 年、バングラデシュの西端地区にて、DPHE (Department of Public Health Engineering) が tube well の井戸水から水質基準値を超えるヒ素を検出した。現時点でも 3500 万人から 7700 万人がヒ素汚染された井戸水を飲むことによる慢性ヒ素中毒のリスク下にあるといわれている。

慢性ヒ素中毒のリスクについて検討する上で、ヒ素の摂取源を把握することは重要である。これまで研究代表者らがおこなってきた調査によると、現地の住民たちは tube well を中心に井戸水がヒ素に汚染されていることを知るにつれて、ヒ素濃度の高い井戸水の飲用をなるべく避けるようになっていた。それゆえ、ヒ素濃度の高い井戸水の飲用を避けることにより、住民の水と食品からのヒ素摂取量においては、コメからのヒ素摂取量の寄与が相対的に大きくなってきたこと、また、炊飯用水に含まれるヒ素が炊飯後のコメのヒ素濃度に影響を与えることなどがわかってきた。しかし、炊飯用水を含む調理用水が全体のヒ素摂取量に与える影響は明らかになっていない。また、飲料水としてはヒ素濃度の低い水を使用したとしても調理用水にはヒ素濃度の高い水を使用する危険性として、ヒ素濃度の低い水は場所が限られており、大量には入手できないため、調理用水には比較的近くにある水を使用してしまうのではないかと推測された。飲料水に加えて、調理用水にもヒ素濃度の低い水を使用することは重要だと考えられるが、住民のヒ素摂取量に与える影響については明らかになっていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、簡易処理装置付井戸を調査地域に一つ設置し、その井戸の水を調査対象家庭に配布することで水汲みにかかる労働負担を低減させ、調理用水としてもヒ素濃度の低い水を供給することとした。その時の飲料水と調理用水からのヒ素摂取量に注目して、全ヒ素摂取量はどの程度変化するのかを調べることを目的とした。

また、精米用水にも注目した。バングラデシュではモミを精米する際、地下水(精米用水)でモミを浸漬・煮沸しているため、精米のヒ素濃度は精米用水のヒ素濃度の影響を受けて高くなっていることが考えられた。そのため、精米用水が精米のヒ素濃度に及ぼす

影響と、精米用水中の二価鉄のヒ素除去効果も調べた。

## 3. 研究の方法

### (1) 簡易処理装置設置前後における食品と水からのヒ素摂取量の調査

調査は井戸水に簡易処理装置を設置する前後に行った。調査対象の住民は 13 歳以上の 16 家族 49 名であった。

調査対象地域住民の一日飲水量を調べるため飲水量調査を行った。各家庭で個人が普段使用する飲料水用の容器の容量を量り、記録した。さらに、飲料水調査カードを各人に渡し、飲料水を飲んだ回数を約 1 日間記録してもらった。容器の容量とその容器で飲料水を飲んだ回数をかけあわせ、一日飲水量とした。

食品のサンプル採取は陰膳方式に基づいた。調査対象とする家庭にて、協力者一人の一日分の米飯以外の食事(朝飯、昼飯、晩飯)と一食分の米飯をそれぞれ一人分余分に作成してもらい、陰膳として回収した。米飯以外の食事の重量と、一食分の米飯重量に一日の米飯の食事回数を乗じたものを足して、その協力者の 1 日食物摂取量とした。同じ家庭内の他の家族の 1 日食物摂取量については、協力者の米飯摂取量に対する比率を聞き取り調査することによって推定した。回収した陰膳は、調理における水の影響が考察できるように米飯、朝食(チャパティ・ダンゴ類)、副食固体、副食液体の 4 つに分類し、実験室に持ち帰った後、凍結乾燥した。

### (2) 精米用水中に含まれるヒ素がコメ中ヒ素濃度に与える影響に関する研究

モミすり工程は以下 3 つの工程から成る。  
①浸漬：マントルヒーター用のフラスコに水 250ml とモミ 80g を入れ、モミを水面下に浸漬させて、恒温槽(MIR-153, SANYO, 大阪)内 30°C で 16h 静置させる。  
②煮沸：浸漬後、フラスコをマントルヒーター(大科電器株式会社、大阪)にて 100°C で 1.5h 煮沸する  
③天日干し後、もみすり：煮沸後、フラスコからモミを取り出して、含水率が約 14%程度まで恒温槽内 40°C でモミを乾燥させる。そして、乾燥したモミをモミすり器(TR120:Kett, 東京)を用いて、玄米とモミガラに分離する。

二価鉄のヒ素除去効果については、以下 2 つの系を用意した。①二価鉄 20mg/l と三価ヒ素 1mg/L の精米用水を用いてモミを精米する系、②二価鉄 0mg/l と三価ヒ素 1mg/L の精米用水を用いてモミを精米する系である。2 つの系はそれぞれモミを入れていないブランクの系も用意した。これら 4 つの系を同時にモミすり工程に従って進めた。

鉄とヒ素の共沈物が水とモミに及ぼす影響については、以下 2 つの系を用意した。①

二価鉄 20mg/l で三価ヒ素 1mg/l の精米用水を恒温槽内で 30 度 24h 放置し空気酸化した後、沈殿物を 0.45  $\mu$ m メンブレンフィルターで除去してからモミを水に入れて精米する系、②二価鉄 20mg/l で三価ヒ素 1mg/l の精米用水を恒温槽内で 30 度 24h 放置し空気酸化した後、沈殿物を除去せずにモミを水に入れて精米する系である。2つの系はそれぞれモミを入れていないブランクの系も用意した。これら 4つの系を同時にモミすり工程に従って進めた。

サンプリングしたものは、浸漬前後のモミと精米用水、煮沸後のモミと精米用水である。なお、サンプリングしたモミは玄米とモミガラに分離して測定サンプルとした。

#### 4. 研究成果

(1) 簡易処理装置設置前後における食品と水からのヒ素摂取量の調査

##### ① 各食品群サンプルのヒ素濃度分析結果

簡易処理装置設置前に採取を行った各食品群のヒ素濃度の平均値は、米飯：0.462mg-As/kg-dry（範囲：0.101-2.365, n=17）、副食液体：0.06mg-As/kg（範囲：0.008-0.156, n=11）、0.198mg-As/kg-dry（範囲：0.086-0.439, n=15）、その他の食品：0.457mg-As/kg-dry（範囲：0.074-1.852, n=16）であった。炊いたコメのヒ素濃度が最も大きいことがわかる。また、炊いたコメ、その他の食品のヒ素濃度のばらつきが他の食品カテゴリーに比べて大きかった。

次に簡易処理装置設置後に採取を行った各食品群のヒ素濃度の平均値は、炊いたコメ：0.275mg-As/kg-dry（範囲：0.061-0.557, n=16）、生米：0.306mg-As/kg-dry（範囲：0.012-0.666, n=16）、副食固体：0.194 mg-As/kg（範囲：0.097-0.554, n=16）、副食液体：0.039mg-As/kg（範囲：0.015 -0.066, n=4）、朝食のチャパティ・ダンゴ類：0.133 mg-As/kg-dry（範囲：0.047-0.282, n=14）であった。

##### ② 平均一日経口ヒ素摂取量の変化について

16 家族 49 名の住民について、簡易処理装置設置前後の平均一日ヒ素摂取量について推定を行った。その結果、設置前が 0.192 mg-As/L（範囲：0.027-0.591）で、設置後は 0.111mg-As/L（範囲：0.019-0.257）となった。また、食品・水の群別の摂取割合は設置前が、飲料水 21%、米飯 52%、朝食（チャパティ・ダンゴ類）12%、副食固体 9%、副食液体 6%であった。設置後は、飲料水 37%、米飯 40%、朝食 13%、副食固体 9%、副食液体 1%となった。簡易処理装置によりヒ素摂取の減少が目立ったものとして、米飯が挙げられる。米飯由来のヒ素摂取量が平均として設置前の 0.10 mg/day から 0.04 mg/day と 6 割の改善

が見られた。特に、前年度において炊飯後のコメ中ヒ素濃度が大きく増加していた家庭において減少傾向が顕著であった。従って、飲料水だけではなく調理用水についてもヒ素濃度の低い水を供給することができれば、住民のヒ素摂取量をさらに減少させることができると示唆された。ただし、この割合は飲料水中のヒ素濃度を減少させることと比較すると小さい。従って、まずは飲料水中のヒ素濃度を減少させることが重要であり、ヒ素濃度の低い飲料水を確実に入手することができるようになった場合は、調理用水のヒ素濃度改善を行うという順序でヒ素摂取量の減少を行うことが妥当だと推定された。

本研究では、簡易ヒ素除去装置を用いてヒ素濃度の高い井戸水を処理したため、ヒ素濃度はバングラデシュ水質基準値の 0.05 mg/L を下回ってはいたが、処理水水質の平均値は 0.019 mg/L と、設置前に住民が飲んでいた飲料水の平均値 0.011mg/L より高い濃度であった。簡易処理装置を設けることの利点は 2つあり、一つは住民が身近に処理水を手に入れることにより、ヒ素濃度の高い水を安易に摂取することがなくなるがある。これは、本調査からは明らかにすることができないものの、これまでは比較的遠距離の水源地まで飲料水を汲みに行っていたことから、日によっては手近なヒ素濃度の高い水を飲むことがあったかもしれない。この可能性を下げることができる。また、もう一つの利点は、調理用水にヒ素濃度の低い水を使用するようになることである。図 1 に簡易処理装置設置前後の住民ヒ素摂取量の散布図を示す。

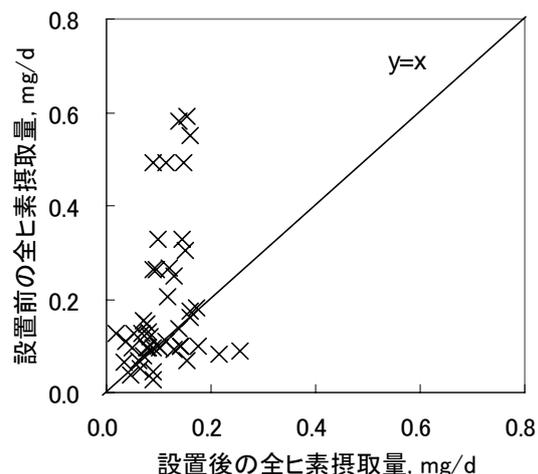


図 1 簡易処理装置設置前後の全経口ヒ素摂取量の比較

この図より特徴的なことは、設置前にヒ素摂取量が高かった人たちの摂取量が設置により大きく減少しているということである。

これは、主に調理用水中のヒ素濃度の減少が貢献している。したがって、簡易処理装置の維持管理が十分になされているという条件であれば、ヒ素摂取量を減少させることができると考えられた。本調査では、形態別ヒ素については十分な分析を行えなかったが、総ヒ素だけを考えると、日本でマーケットバスケット法を用いて分析し、推定した総ヒ素摂取量は約 0.3 mg-As/day であったので、総ヒ素としては簡易処理装置設置により十分減少させることができている。しかしながら、バングラデシュのヒ素汚染問題は総ヒ素ではなく無機ヒ素なので、今後は無機ヒ素について評価を行っていく必要があると考えられた。

## (2) 精米用水に含まれるヒ素がコメ中ヒ素濃度に与える影響に関する研究

二価鉄 20mg/L と三価ヒ素 1mg/L の精米用水を用いて、モミすり工程に従ってモミをモミすりした時の結果、浸漬前と比べて、浸漬後と煮沸後のモミのヒ素量は増加していた。

次に、煮沸モミのモミ 1kg 当たりのヒ素量について図 2 に示す。この図は以下に述べる 4 種類の操作を精米用水（三価ヒ素：1mg/L）に施してからモミをモミすりした時の結果である。上から 2, 3 番目目の積み上げ棒グラフについては、(i) 精米用水中に二価鉄 20mg/l を添加する操作と、添加しない操作を施した。上から 4, 5 番目目の積み上げ棒グラフについては、(ii) 精米用水を予め恒温槽内で 30°C 24h 放置して空気酸化させて、モミを入れる前に沈殿物を除去する操作と、除去しない操作を施した。この図 2 における結果から、モミを水に入れる前に 24h 放置し、その後に精米用水の沈殿物を除去することで、精米・モミガラヒ素量の増加度合いを大きく減らすことができると分かる。この時、精米のヒ素濃度は精米用水中に鉄が存在しているもの（図中の上から 3 番目の棒グラフ）の玄米と比べると、0.074mg-As/kg-dry 低いということが分かった。今回の調査では一日米摂取量は 0.196kg/day であったので、米からの平均一日ヒ素摂取量は 0.015 mg-As/day 抑えられていることになる。これは、平均一日ヒ素摂取量 0.111mg-As/day の 13% に当たる。また、ただ単に精米用水を 24h 放置するだけでも、平均一日ヒ素摂取量の 9% に当たる 0.010mg-As/d 抑えることができる。

コメからのヒ素摂取を考えた場合、コメ自体に含まれるヒ素の摂取もさることながら、炊飯時における炊飯用水からのヒ素の移行、さらにバングラデシュの精米で特徴的な水を使った精米によってもヒ素がコメに移行することが示された。また、精米におけるヒ素のコメへの移行をできるだけ抑えるためには、ヒ素汚染井戸水中に共に含まれる場合

が多い鉄をヒ素を共沈させ、その沈殿物を除去するという比較的安易な方法でも効果があることが示された。

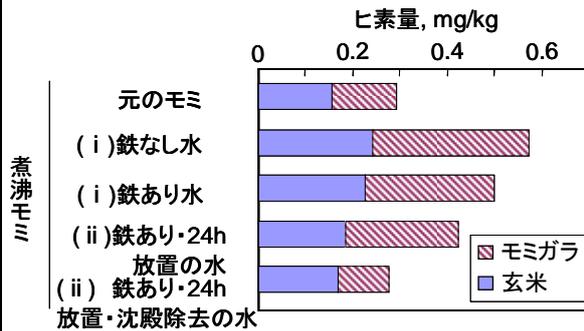


図 2 各種精米用水での煮沸モミ 1kg あたりのヒ素量

## 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 1 件)

- ① Ohno, K., Matsuo, Y., Kimura, T., Yanase, T., Rahman, M.H., Magara, Y., Matsushita, T. and Matsui, Y., Effect of rice-cooking water to the daily arsenic intake in Bangladesh: results of field surveys and rice-cooking experiments, 59(2), 2009, 195-201 (査読あり)

[学会発表] (計 4 件)

- ① 石川浩平, 大野浩一, 松井佳彦, 松下拓, 食品からの無機物質摂取量と飲料水の寄与率の調査, 第 16 回衛生工学シンポジウム, 2008 年 11 月 13 日, 札幌市.
- ② 石川浩平, 黒沢裕貴, 大野浩一, 松下拓, 松井佳彦, 食品からの必須・有害金属摂取量と飲料水の寄与率の調査, 第 60 回全国水道研究発表会, 2009 年 5 月 22 日, さいたま市.
- ③ 大野浩一, 石川浩平, 黒沢裕貴, 松下拓, 松井佳彦, 有害物質の摂取量に対する水道水の寄与, 第 12 回日本水環境学会シンポジウム, 2009 年 9 月 14 日, 東京.
- ④ Ishikawa, K., Ohno, K., Kurosawa, Y., Matsui, Y., Matsushita, T. and Magara, Y., Exposure assessment of toxic and essential metals via drinking water and total diet in Japan, the 3rd IWA-ASPIRE Conference, 18-22 October 2009, Taipei, Taiwan.

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

大野 浩一 (OHNO KOICHI)

研究者番号: 00322834