

H-6 地下水利用に伴う広域的ヒ素汚染に関する地球環境保全のための環境計画に関する研究
(1) - 1 ヒトへの健康影響とその防止手法の開発

厚生労働省 国立医薬品食品衛生研究所

環境衛生化学部 安藤 正典

環境衛生化学部 第2室 徳永裕司・内野 正・Tarit Roy Chowdhury

平成12年～14年度合計予算額 25,850千円

(うち、平成14年度予算額 8,822千円)

〔要旨〕平成12年～14年度にかけて、地下水のヒ素汚染が大きなインド西ベンガル州及びバングラデシュ人民共和国ジョソール県を訪れ、ヒ素汚染の地下水を飲料に供する住民の尿、毛髪及び飲料水を採取した。これら地域で飲料水のヒ素許容基準50 ppb以上を越えて長期間ヒ素汚染水を摂取した住民の尿からヒ素の代謝機能の低下により、多量の無機ヒ素が尿中に排出されることが分かった。体内でのヒ素の代謝は、As(V)→As(III)→MMA→DMAのpathwayで進むが、尿中の代謝物As(III)、MMA、DMAの量関係は有意な相関関係($P<0.05$)が認められた。の尿中のヒ素のヒ素の代謝機能には、男女の差はなく、年齢的には小児の方が高齢者に比べて多くのヒ素化合物を尿中に排出していた。1回採取尿でのヒ素の平均値と24時間採取尿での平均値には、統計的に有意な差が観察されず、1回採取尿で24時間の値を類推できることが分かった。

ヒ素濃度の高い飲料水を摂取し、ヒ素被害が皮膚症状に現れている住民でも5年以上の長期間に渡りヒ素濃度の低い飲料水(ヒ素量10ppb以下)を摂取することにより皮膚症状の緩解が観察されるが、皮膚症状そのものは消失しなかった。

飲料水中のヒ素濃度と尿中のヒ素化合物あるいは毛髪中のヒ素濃度には関連性があり、飲料水中のヒ素濃度が高い場合には尿中あるいは毛髪中のヒ素化合物の濃度が高かった。年齢と毛髪中のヒ素濃度の間に関連性がなかった。飲料水中のヒ素濃度が高い場合、鉄及びマンガンの濃度が高いという両者の関連性が明らかになった。

〔キーワード〕ヒ素、地下水、飲料水、ヒ素代謝物、HPLC-ICP/MS

1. はじめに

世界各地で約20件の地下水のヒ素汚染とそれに起因する人的被害が報告されている。この内、主要な地下水のヒ素汚染地域として、バングラデシュ、インド西ベンガル州、中国内蒙古自治区と新疆自治区及び台湾である。特に、ガンジス河流域のデルタ地帯に位置するインド西ベンガル州及びバングラデシュでは、1980年代以降、両国の飲料水のヒ素基準の50ppbを遙かに越えるヒ素汚染水を飲用する事例が多数報告され、地下水のヒ素汚染が大きな社会問題となっている。

2. 研究目的

ヒ素のヒトへの健康影響を調べるため、平成12年～14年度に架けて、ガンジス河のデルタ地帯で、地下水のヒ素汚染が著しいインド西ベンガル州及びバングラデシュのジョソール県を訪れた。

地下水のヒ素汚染地域で長期間に渡り、高濃度のヒ素汚染水を飲料として使用し、ヒ素被害が皮膚症状として現れている住民の家族を対象に飲料水、尿及び毛髪を採取した。採取した試料中のヒ素を含む16種類の元素並びに尿中のヒ素代謝物の分析を行い、その結果を基に、ヒトへの健康影響を調査した。ヒ素汚染地域住民のヒ素の総暴露量の推定を行う。

3. 研究方法

平成12年～14年度に架け、計6回、インド西ベンガル州Mushidabad地区及びバングラデシュ人民共和国ジョソール県シャムタ村を訪れ、ヒ素汚染された地下水を飲料水、料理用水として使用している家族から飲料水、毛髪及び尿を採取した。

3-1 尿中のヒ素化合物の分析

尿中のヒ素化合物の分析は、尿検体をHPLC用の移動相で2倍に希釈し、その20 μ lをHPCL-ICP/MS装置に注入して測定を行った。HPLC条件は以下の通りであった。

(HPLC条件)

検出器：Agilent7500型ICP/MS装置

カラム：Gelpack GL-IC-A15G(4.6mm i.d.×10mm,基材樹脂：ポリメタクリレート、官能基：アルカノールアミン、イオン交換容量：70 μ eq/col)のガードカラムを装着しGelpack GL-IC-A15(4.6mm i.d.×150mm)カラム、カラム温度：35 $^{\circ}$ C、移動相：0.2mMのエチレンジアミン四酢酸二ナトリウムを含む10mMリン酸塩緩衝液(pH6.0)、流量：1 ml/min

3-2 尿中creatinineの測定

尿0.12mlを正確に量り、MilliQ水1.02mlを加えた。この液0.5 mlを遠沈管に入れ、除蛋白液3 mlを正確に加え、10分間放置した。3000 rpmで10分間遠心分離した後、上清2 mlを正確に量り、試験管に入れた。ピクリン酸試液1 ml及び0.75 mol/l水酸化ナトリウム試液1 mlを正確に加え、30 $^{\circ}$ Cの水浴中に20分間放置した。放置後、520 nmにおける吸光度 A_T を測定した。10 mg/dlのcreatinineを含む標準溶液を調製し、同様に操作を行った。得られた吸光度 A_S を測定し、次の式より尿中のcreatinine量を求めた。

$$\text{尿中のcreatinine量 (mg/dl)} = A_T/A_S \times 10 \times 10$$

3-3 飲料水中のヒ素を含む9元素の分析

飲料水を試料溶液とした。必要なら、0.1%硝酸を用い、試料溶液を希釈した。試料溶液100 μ lをreodyne製loop-injectorに注入し、島津製LC-10AT型液体クロマトポンプで0.7ml/minの流量でHP4500型ICP/MS装置に送液し、試料溶液中の9元素量を測定した。各元素量は、各元素の5,10及び50 ppbを含む0.1%硝酸溶液を調製し、その100 μ lを用いて作成した検量線より求めた。

3-4 毛髪中のヒ素化合物を含む17元素の分析

飲料水(A-E,F,G-I-1,G-I-2,J,K,Lの7サンプル、AやKは一つの家族を示す)はそのまま、毛髪(サンプル数は尿と同じ)は根元から約3 cmまでの長さものをミリQ水で洗浄後、その約20 mgを精密に量り、テフロン容器に入れた。硝酸/過酸化水素水混液(3:1)5 mlを正確に加え、一夜放置

した。テフロン容器をmicrowave ovenに装着し、毛髪を湿式分解を行った。冷後、処理溶液を25 mlのメスフラスコに移した。テフロン容器の器壁をMilliQ水で数回洗い、メスフラスコに加えた。MilliQ水により25 mlとした。得られた溶液をミリポアフィルター（0.45 μ m）でろ過し、ろ液100 μ l中のヒ素を含む12元素の測定を行った。

4. 結果・考察

4-1 平成12年度の結果・考察

インド西ベンガル州Mushidabad地区の12家族、構成員51名が使用する飲料水（井戸水）6検体、尿及び毛髪51検体が採取された。飲料水中のヒ素濃度は2.7~170 ppbであり、3種類の井戸水はインドの飲料水のヒ素基準の50ppbを越えていた。51名の尿中のヒ素化合物As(III), DMA, MMA及びAs(V)の平均値は、それぞれ、92.0, 391.4, 62.1及び45.4 ppb/mg/ml creatinineであり、それらの範囲も、それぞれ、0.0~796.9, 8.3~2017.5, 2.1~411.0及び0.0~1635.2 ppb/mg/ml creatinineであった。50ppb以上のヒ素を飲料水から摂取している9家族36名の尿中のヒ素の代謝物であるAs(III)、MMA、DMAの各濃度間の比較を行ったところ、各代謝物間に大きな相関関係($P < 0.05$)が観察された。ヒ素の代謝物とtotal Asの比である(MMA+DMA)/total As(%)を見た場合、その平均値は83.2%であり、その範囲は16.5~96.5%であった。ヒ素の正常な代謝機能を持つヒトの場合、その範囲は70~90%であると報告されている。2人の男の子（2才及び13才）の場合、それらの比が27.3及び16.5%であり、明らかに多の人々と違った代謝パターンを示し、ヒ素の代謝物の生成能（メチル化能）に異常がでていることが示唆された。次に、食習慣及び家族の履歴が同じA-Lの家族の中から各夫婦を抽出し、それを男性及び女性に分けて尿中のヒ素化合物の変化を検討した。各家族の夫婦間での尿中ヒ素化合物の濃度に統計的な相関関係があり、ヒ素暴露の履歴が同じ場合、尿中へのヒ素化合物の排泄は相関性があることが示唆された。飲料水中のヒ素濃度と尿中のAs speciationの関連性について検討した。As(III)、MMA、DMAおよびTotal Asの濃度と飲料水のヒ素濃度の間に有意($p < 0.05$)な相関性が観察された。また、飲料水中のヒ素濃度と毛髪中の濃度は有意な相関を示した。毛髪中のヒ素濃度は女性の方が男性よりも有意に高く、また女性の子供が全グループの中で最も高い値を示した。なお年令と毛髪中のヒ素濃度の間に有意な相関は見られなかった。成人女性の髪に於いて、部位のヒ素濃度への影響について検討したところ、根元部分が他の部分より有意に濃度が高くなった。飲料水中のヒ素と16元素の中の鉄及びマンガンの濃度との間に有意な正の相関を示した。毛髪中のヒ素濃度とバナジウム、アンチモン、セレン、銀、錫、カドミウム、クロム、マンガン、鉄の各濃度との間に有意な正の相関があった。特にバナジウム、クロム、銀、鉄は両方で有意な相関を示した。尿採取は1回の尿を通常採取している。同一人が24時間で排出する尿中のヒ素化合物の量と1回の採取で得られた尿中でのヒ素化合物の量との違いを検討するため、各家族から1~3名の成人男子を選び、24時間尿を採取し、1回採取尿との関連性を調べ、Table 2に示した。1人当たりの24時間の尿量は約2.5 lであった。1回採取尿での値の平均値と24時間採取尿での値の平均値の間には、統計的に有意な差が観察されなかった。一人のヒトから1回の尿の採取により、24時間に排泄されるヒ素化合物量を類推できることが明らかになった。

4-2 平成13年度の結果・考察

インド西ベンガル州Mushidabad地区の調査対象はA～Yの23家族の96名であったが、尿として採取できた住民は89名であった。V～Yの家族9名は地下水のヒ素汚染がない地域に居住する家族であり、飲料水中のヒ素量は2.6ppbであった。A～Uの家族が飲料用及び料理用に使用する水中のヒ素濃度は0.6～75.5ppbであり、Pの家族4人がインドの飲料水中のヒ素基準は50 ppb以上の水を使用していた。それら住民から採取した尿中のヒ素化合物を測定した。14才の男子及び4才の女兒は尿1 ml当たりのcreatinine量が0.001 及び0.008mgとやはり異常に低い値を与え、腎機能の異常が観察されたため、そのデータは使用しなかった。87名の尿中のヒ素化合物As(III), DMA, MMA及びAs(V)の平均値は、それぞれ、52.1, 209.4, 44.1及び212.7 ppb/mg/ml creatinineであり、それらの範囲も、それぞれ、0.0～1143.5, 0.0～1129.7, 0.0～376.1及び0.0～9167.1 ppb/mg/ml creatinineであった。ヒトの体内においては、As(III)あるいはAs(V)の形態で取り込まれた無機ヒ素は体内のメチル化酵素により、70～90%がMMAあるいはDMAの形に代謝されて尿中から排泄されている。今回調査した大部分のヒトのMMAとDMAの割合はこれまでの報告された範囲に入っていたが、11名の人々が4.2～57.2%という低い値を与えた。これらの人々は肝臓のヒ素のメチル化酵素の活性が他の人々に比べて低下していることが示唆された。これらの人々の測定データも除外した。尿中のtotal arsenic量を0～99、100～199と100刻みで999まで、1000からは200刻みで1400 ppb/mg/ml creatinineまで分けた。今回検討した87名の尿中のtotal arsenic量の中心値は100～199 ppb/mg/ml creatinineであり、24名が属し、その次は200～299 ppb/mg/ml creatinineで、23名が属していた。尿中のtotal arsenic量が1000 ppbを越えるヒトは6名であった。75.5ppbのヒ素を含むtubewellを利用しているPの家族は、P-1、P-2、P-3及びP-4の4名の尿中のtotal arsenic量は、それぞれ、1360.7, 831.5, 1005.8, 1102.7 ppb/mg/ml creatinineであり、明らかにインド共和国の飲料水のヒ素基準以下の水を用いている家族に比べて高い値を与えていた。コントロール地域で生活するV～Yの家族9名の尿中のtotal arsenic量は49.6～147.2 ppb/mg/ml creatinineであり、今回検討した人々の中で尿中のtotal arsenic量は最も低い部類に属していた。

A～Yの23家族の96名から得られた毛髪を用い、ヒ素を含む17元素を測定した。検討した17元素の内、B、V、Cr、Ag、CdおよびPbの6種類の元素ほとんど検出されなかった。A～Uの19家族から得られた84の毛髪中の各種元素の平均値、最小値および最大値を検討した。毛髪中のMg、FeおよびZnが他の元素に比べて明らかに多く含まれており、その平均値は、それぞれ、314、124および249 $\mu\text{g/g}$ であった。control家族のV～Y家族12名から得られ毛髪中のMg、FeおよびZnの平均値は、それぞれ、136、161および289 $\mu\text{g/g}$ であった。平均値を比較したとき、Mg濃度がcontrol家族に比べて2.3倍と高かったが、統計的には有意な差が認められなかった。A～U家族の毛髪のヒ素濃度の平均値±標準偏差は1626 ±1968 ng/gであり、control家族での平均値±標準偏差は474 ±324 ng/gであった。地下水のヒ素汚染地域の家族から得られた毛髪中のヒ素濃度はcontrol家族から得られた毛髪中のヒ素濃度よりも統計的に有意 ($P<0.05$) に高い値を示していた。次に、男女間の毛髪へのヒ素の蓄積を検討するため、生活習慣の類似する夫婦を14家族から抽出し、男女間の比較を行った。男性の毛髪中のヒ素濃度の平均値は1584.1 ng/gであり、女性からの平均値は1653.6 ng/gであった。夫婦を用いた時、男女の毛髪中のヒ素濃度に差がないことが分かった。男女間の毛髪のヒ素濃度の間には、統計的に有意な相関関係 ($P<0.05$) が成立した。

4-3 平成14年度の結果・考察

バングラデシュ、ジョソール県シャムタ村の地下水のヒ素汚染地域のtubewellから採取した井戸水A-1～S-5並びに地下水のヒ素汚染がバングラデシュの飲料水のヒ素許容基準50 ppb以下の地域で生活する1-A～1-Gのtubewellから採取した井戸水中のCr, Cu, As, Se, Ag, Cd, Sn, Sb及びHgの9元素を測定した。また、同時に、宮崎大学工学部のヒ素除去装置で処理した後の処理水の測定も行った。13のtubewellから採取した水の中の無機ヒ素濃度は4.2～1168.8ppbであった。それらの内、G1(1168.8 ppb), M1(781.8 ppb), A3(600.4 ppb)の順に井戸水中のヒ素濃度は著しく高く、地下水のヒ素汚染地域のtubewellとして調査した13本のtubewellの内、8本のtubewellがバングラデシュの飲料水のヒ素許容基準50 ppbを越えていた。ヒ素除去装置で処理した後の処理水で検出された元素は、Asの9.4ppm以外にCu(5.4 ppb)とSb(1.2 ppb)であり、WHOの飲料水のヒ素推奨基準の10ppb以下であった。ヒ素の面から見た場合、十分に安全な水であることが分かった。これら地下水のヒ素汚染地域のA～Pの家族は積極的にこの処理水を飲料用及び料理用に利用しており、アジアヒ素ネットワークのバングラデシュでの活動が功を奏していることが伺えた。ヒ素による地下水のヒ素汚染地域でないtubewellから採取した6種類の井戸水中のヒ素濃度はバングラデシュの飲料水のヒ素許容基準50 ppb以下ではあったが、WHOの飲料水のヒ素推奨基準の10ppbを越えており、ヒ素濃度から見て、安全性の面から疑問符の付くものであった。

尿として採取できたのは調査対象はA～Vの21家族77名及びコントロールの1-A～1-Jの10家族32名であった。地下水のヒ素汚染地域に生活するA～Vの21家族77名の尿中のヒ素化合物を測定した。シャムタ村の地下水のヒ素汚染地域で生活するA～Pの家族は、平成9年以降、宮崎大学工学部が設置したヒ素除去装置で処理された水(ヒ素濃度9.4 ppb、平成14年12月の測定値)を飲料用及び料理用に用いている。更に、Q～Vの家族もdeep tubewellを用いている。hyperkeratosisあるいはmelanosis等のヒ素症状を呈した住民(77名中34名)の症状も我々の平成12年、13年のインド西ベンガル州の地下水のヒ素汚染地域の住民の調査と比べて症状の緩解を観察することができた。しかし、A～Vの家族が洗濯などの他の用途で使用しているtubewellから採取した水の中の無機ヒ素濃度は4.2～1168.8ppbと大きなバラツキがあるが、調査した15試料の内8試料の無機ヒ素濃度が52.5～1168.8ppbとバングラデシュの飲料水のヒ素許容基準50 ppbを越えていた。ヒ素処理水あるいはdeep tubewellの水を飲料用及び料理用に用いることにより、ヒ素被害の拡大が防止されていることが示唆された。ヒ素のメチル化体であるDMAとMMAの和を尿中の総ヒ素量で割ったもの(%)の正常範囲は、70～90%と報告されている。測定した77名の平均値は81.2%であり、その範囲は32.9～100%であった。異常に低い値を与えたC-3(45.8%)とE-1(38.3%)であり、As(III), DMA, MMA及びAs(V)の量は、それぞれ、37.2, 145.9, 18.1, 157.2 ppb/mg/ml creatinine並びに92.5, 117.0, 12.9, 117.2 ppb/mg/ml creatinineであった。2名の住民のヒ素のメチル化能に異常が現れていることが推察された。C-3とE-1を除く正常なヒ素代謝能を持つA～Vの家族の構成員75名を対象に尿中の各ヒ素化合物間の関連性について検討した。体内に取り込まれた無機ヒ素の代謝はAs(V)→As(III)→MMA→DMAのpathwayの内、As(V)の還元体のAs(III)、MMA、DMAあるいはそれらヒ素代謝物(As(III), MMA, DMA)と総ヒ素量との間には良い相関関係($P < 0.05$)が成立していた。反対に、体内取り込みの第一段階のAs(V)と尿中総ヒ素量との間には有意な相関関係が見いだされなかった。

シャムタ村でヒ素による地下水汚染が小さく、tubewellの水を飲料用あるいは料理用に用いている地域に住む1-A～1-Jの家族32名の尿中のヒ素化合物量を示した。ヒ素のメチル化体であるDMA

とMMAの和を尿中の総ヒ素量で割ったもの(%)の平均値は82.8%であり、その範囲は64.1~93.4%であり、全員が正常の範囲にあった。次に、尿中の総ヒ素量を 49ppb/mg/ml creatinine以下(1)、50~99ppb/mg/ml creatinine(2)というように50ppb/mg/ml creatinineずつで(1)~(11)に区切り、各区切り毎の人数を計算した。但し、(11)は500ppb/mg/ml creatinine以上を示した。A-V家族あるいは1-A~1-J家族から得られた尿中の総ヒ素量の濃度的な区分けは、両者ともほぼ同様な分布を示し、それぞれの中央値は(3)で示した100~149 ppb/mg/ml creatinineの範囲に、21名と11名であった。500 ppb/mg/ml creatinine以上の総ヒ素量を示した人は、F-2, G-3, P-4, A-5及び5-Aの5人であり、それぞれのヒ素量は946.8, 838.9, 784.0, 562.5及び525.1 ppb/mg/ml creatinineであった。この5人は比較的最近に高濃度のヒ素汚染された水を摂取した可能性が推察された。そこで、A-Vの家族75名の尿中ヒ素化合物のデータの中からF-2, G-3, P-4, A-5を除き、更に、尿中の総ヒ素量が50 ppb/mg/ml creatinine以下の値を示したP-5の人のデータを異常値として除き、以下の検討を行った。70名の尿中ヒ素化合物のデータを用いて年令と尿中各ヒ素化合物の関係を検討した。統計的に有意な相関関係($P<0.05$)が年令とDMA並びに年令と総ヒ素量の間を観察された。飲料水あるいは食物からの全体的なヒ素摂取量は個人差があるが、ヒ素代謝能をDMAとMMAの和を尿中の総ヒ素量で割ったものの値が70~90%集団で、バングラデシュの飲料水のヒ素基準をみたした水を摂取している人々の場合、加齢とともに尿中に排泄される総ヒ素量が低下することが示唆された。

男女による尿中のヒ素化合物の関連性を、家族としての履歴の同じ夫婦を選び、各男女の尿中のヒ素化合物の量を検討した。尿中DMA、As(III)あるいは総ヒ素量の男女間には有意な相関関係($P<0.05$)が成立した。

5. 本研究により得られた成果

(1)インド及びバングラデシュでの飲料水中のヒ素基準は50ppb以下である。平成12年度に調査した12家族の内、9家族がインドの飲料水中のヒ素の基準以上のヒ素を摂取していた。平成13年度に調査した19家族の内、1家族が基準以上のヒ素を摂取していた。平成14年度に調査した21家族の全員が安全な水を用いていたが、調査した13本のtubewellの水の内、8本のtubewellの水がヒ素基準の濃度を上回っていた。

(2)ヒ素のメチル化体であるDMAとMMAの和を尿中の総ヒ素量で割ったもの(%)の正常範囲は、70~90%と報告されているが、平成12年度の調査で2名の子供(27.3及び16.5%)、平成13年度の調査、平成14年度の調査で2名に無機ヒ素の代謝異常が観察された。

(3)正常な無機ヒ素の代謝能を有するヒトを対象に各ヒ素化合物の間での関連性を検討したところ、As(III)、MMA、DMAあるいはそれらヒ素代謝物(As(III), MMA, DMA)と総ヒ素量との間には良い相関関係($P<0.05$)が成立した。

(4)正常な無機ヒ素の代謝能を有する夫婦を対象に男女間での尿中ヒ素の代謝物であるAs(III)、MMA、DMAの関連性を検討したところ、各代謝物とも男女間に有意な相関性があった。

(5)正常な無機ヒ素の代謝能を有するヒトを対象に年令と尿中各ヒ素化合物の関係を検討した。年令とDMA及び年令と総ヒ素量の間統計的に有意な相関関係($P<0.05$)があった。

(6)飲料水中のヒ素濃度と毛髪中のヒ素濃度には関連性があった。

(7)1回採取尿でのヒ素の平均値と24時間採取尿での平均値には、統計的に有意な差が観察されず、1回採取尿で24時間の値を類推できることが分かった。

6. 引用文献

- 1) L.M.Del Razo, G.G.Garcia-Vargas, H.Vargas, A.Albores, M.E.Gonsebatt, R.Montero, P.Ostrosky-Wegman, M.Keish, M.E.Cebrian* Arch. Toxicol., 71, 211-217 (1997).
- 2) 谷 正和：平成11年度～12年度科研費補助金研究成果報告書、「バングラデシュ・ベンガル地方の地下水砒素汚染問題に関する応用人類学的研究」
- 3) B.K.Mandal, T.R.Chowdhury, G.Samanta, D.P.Mukherjee, C.R.Chanda, K.C.Saha, D.Chakraborti: Sci. Total. Environ. 30, 185-201 (1998).
- 4) M.M.Rahman, B.K.Mandal, T.R.Chowdhury, M.K.Sengupta, U.K.Chowdhury, C.R.Chanda, G.K.Basu, S.C.Mukherjee, K.C.Saha, D.Chakraborti: J. Environ. Sci. Health, Part A Tox.Hazard. Subst. Environ., 38, 25-59 (2003).

7. 国際協同研究などの状況

インド西ベンガル州のJadavpur大学環境科学部長Dr.Chakrabortiのグループ並びにNPOのアジアヒ素ネットワークと一緒に地下水のヒ素汚染地域の調査を共同で行い、地域住民のヒ素暴露両調査及び健康影響調査を実施している。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

<学術誌 (査読あり)>

- ①G.Samanta, U.K.Chowdhury, B.K.Mandal, D.Chakraborti, N.Chandraskaran, H.Tokunaga, M.Ando: Microchem. J. 65, 113-127 (2000).
- ②Hiroshi Tokunaga, Tarit Roychowdhury, N.Chandraskaran, Tadashi Uchino, Masanori Ando: Appl. Organometal. Chem., 16, 406-414 (2002).
- ③Yokota H, Tanabe K, Yano Y, Hamabe K, Yabuuchi K, Tokunaga H: Water Sci. Technol., 46, 375-380 (2002).
- ④U.K.Chowdhury, M.M. Rahman, M.K.Sengupta, D.Lodh, C.R.Chandra, S.Roy, Q. Quamruzzaman, H. Tokunaga, M. Ando, D. Chakraborti: J. Environ. Sci. Health, 38, 87-113 (2003).

<学術誌 (査読なし)>

なし

<書籍>

なし

<報告書類等>

なし

(2) 口頭発表

- ①徳永裕司、高 玲華、N.Chandraskaran、A. Sharaim、U.R.Chaudhury、D.Chakraborti、安藤正典：
衛生薬学・環境トキシコロジー（2000年10月）
- ②H.Tokunaga、T.Roychowdhury、T.Uchino、M.Ando: 10th International Symposium on Natural and
Industrial Arsenic Japan (November 2001).
- ③T.Uchino、T.Roychowdhury、H.Tokunaga、M.Ando: 10th International Symposium on Natural and
Industrial Arsenic Japan (November 2001).
- ④徳永裕司、竹内織恵、Tarit Roychowdhury、内野 正、安藤正典、日本薬学会大123年会講演要
旨集-3、 p.178(2003.3)

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

今後、国際専門誌に発表することにより、成果の広報・普及に努める。