

# 厚生科学研究費補助金 (生活安全総合研究事業)

## 分担研究報告書

### 放射光蛍光 X 線分析による砒素の生体内挙動に関する研究 —急性砒素中毒における母胎から胎児への砒素の移行

分担研究者 中井 泉 東京理科大学・理学部・応用化学科 教授

**研究要旨** 急性砒素中毒患者の新生児の毛髪を放射光蛍光 X 線分析により伸長方向に1次元分析したところ、母胎の砒素の摂取に対応すると考えられる明瞭な砒素のピークが検出された。また、臍帯の蛍光 X 線分析からも明瞭に砒素が検出されたことから、母体が摂取した砒素は胎児へと移行するということを本研究によって初めて実証することができた。生体試料における砒素の分布についての中毒学的研究に対して、放射光蛍光 X 線分析が用いられたのは、本研究が初めてである。本研究により、放射光蛍光 X 線分析が生体試料中の砒素の分布情報を得るのに最も適した非破壊分析手法であることも示すことができた。

#### A. 研究目的

本研究では、急性砒素中毒の生検試料について、放射光蛍光 X 線分析を適用し、生体内での砒素の代謝挙動を解明することを目的とした。本年度は特に、母胎における、砒素の胎児への移行プロセスに着目した。本研究は、急性砒素中毒という金属中毒学上極めてまれな事例について、高精度の重要な新データを中毒学研究者に早急に提供するという意義を持つとともに、砒素の新しい分析手法の開発という分析化学的な意義がある。

組織中の砒素の分布を調べるためには従来法のように組織試料を分解し、臓器中の平均濃度を求めるのでは不十分であり、非破壊でかつ微小領域毎の測定が不可欠である。また生検試料中の砒素濃度は微量であるため、高輝度な X 線が必要とされる。放射光蛍光 X 線分析は波長可変であるため特定の元素に対して選択的励起が可能で、組織の形状を維持したまま微小領域の分析ができ、イメージング

により砒素の組織内分布を高分解能で解明できる。対象試料としては、代謝経路として砒素の蓄積を時間軸上で検出できる頭髪を扱った。砒素代謝のメカニズムを解明する上で有効な知見を得るため、これらに含まれる砒素の分布を明らかにした。また、砒素中毒による胎児への催奇性が報告されており<sup>1)</sup>、人間の胎児への影響についての知見を得るため臍帯の分析を行った。

#### B. 研究方法

##### a. 試料

試料は和歌山の急性砒素中毒患者の毛髪と、その中の妊娠している方々の臍帯、新生児の毛髪でありその詳細を以下に列挙する。

##### i) 毛髪の伸長方向の一次元分析

和歌山の砒素混入カレー事件にて発生した急性砒素中毒患者の頭髪 14 点

(うち 2 点は新生児のもの)

急性砒素中毒患者の新生児の毛髪 4 点

## ii) 臍帯

和歌山の砒素混入カレー事件において発生した急性砒素中毒患者のうち砒素摂取時妊娠中であつた患者の出産後の臍帯 4点

## b. 試料の調製法

### i) 毛髪伸長方向の一次元分析

一本の毛髪の両端をこよりに固定し、図1のように作成したホルダーに取り付け、毛髪の根元側から毛先側に向かって一次元分析を行った。

### ii) 臍帯の点分析

臍帯を小片にし、テフロン容器に移した。これを約 60°Cの乾燥機中で 8時間乾燥させた。その後アクリル板ホルダーに張ったマイラー膜上にグリコールテレフタレートにて固定した。

## c. 放射光蛍光 X線分析

X線を物質に照射すると発生する蛍光 X線のエネルギーは元素に固有で、強度は元素の存在量にほぼ比例することから定性、定量分析が可能であり、蛍光 X線分析として利用される。励起 X線に高輝度の放射光をもちいることにより、高感度非破壊分析が可能である。本研究では、図2に示す、放射光蛍光 X線分析システムにより測定を行った。

### d. データ解析

マルチチャンネルアナライザで得られた蛍光 X線スペクトルから各元素に対応するピークの積分強度を求めた。毛髪の一次元分析は各元素の蛍光 X線強度を測定点の位置の関数として表示した。

## C. 結果及び考察

### a. 毛髪

急性砒素中毒患者の毛髪の一次元分析の結果 2例について、図3に示す。急性

砒素中毒患者の毛髪では砒素の局所的で慢性砒素中毒患者の毛髪よりも高濃度の砒素の濃集がみられ、一時的に砒素を摂取したことが立証された。さらに、砒素が確認された毛髪の長さは約 3-6mm ぐらいであり、毛髪の成長速度は1ヶ月に約 1cmであることを考えると、約半月の間に大部分の砒素は代謝されていることが明らかになった。また、毛髪の濃度変化を砒素の摂取の履歴情報として取り出すことが可能であることが解った。他の微量金属元素と比較すると、砒素が多くみられる部分では銅の含有量が増加しているケースがあつた。一方、硫黄及び亜鉛に関してはこの部分で逆に減少しているものが数例確認された。更に硫黄は砒素の濃集が終了した後もしばらく減少したままであつた。ただ、個体差があることから、一般化するには至っていない。また、毛髪は生成時の体内環境により成分組成が変化しやすいものであるため、砒素の摂取以前であつても含有量に変動があり必ずしも相関があると結論付けられるものではない。しかし、砒素の比較的高曝露者では上記の傾向がみられた。

砒素は細胞中の SH 基と結合し、結果的に細胞代謝にとって重要な酵素の阻害を生ずると考えられている<sup>1)</sup>。毛髪の生成は、繊維小のう中で起こる。まず、上皮細胞が小のうの低部で成長を始め、球状組織のすぐ上方に達するまで成長し、成長した上皮細胞のタンパク質中の SH 基が酸化を受けてジスルフィド結合を形成し、これにより構造が安定化する<sup>2)</sup>。このように毛髪の生成には SH 基が重要な役割をはたしており、砒素が硫黄と結合するため砒素の影響を受けてその量に変化していると考えられる。

生まれてすぐに根本から採取した新生児の毛髪分析を行った。図4は急性砒素中毒患者の新生児の毛髪の伸長方向における元素変化を示したものである。図から砒素の局所的な濃集がみられた。新生児の毛髪は太さが均一でなく、毛髪の成長速度が栄養状態に大きく左右されるため、時間的な砒素の濃度分布は、明らかにはならないが、この結果より母体から胎児への砒素の移行が明らかになった。

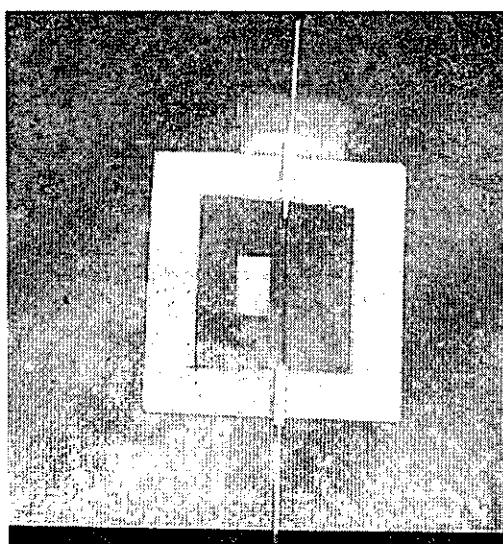


図1 一次元分析用毛髪サンプル

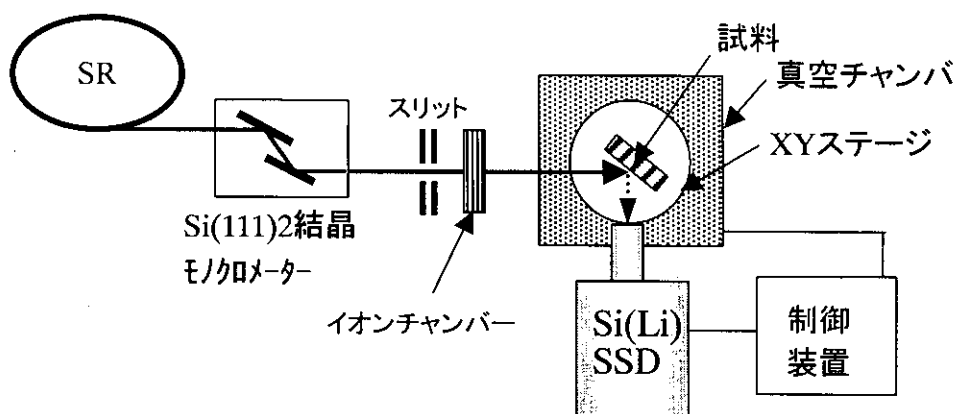


図2 放射光蛍光X線分析システムの構成

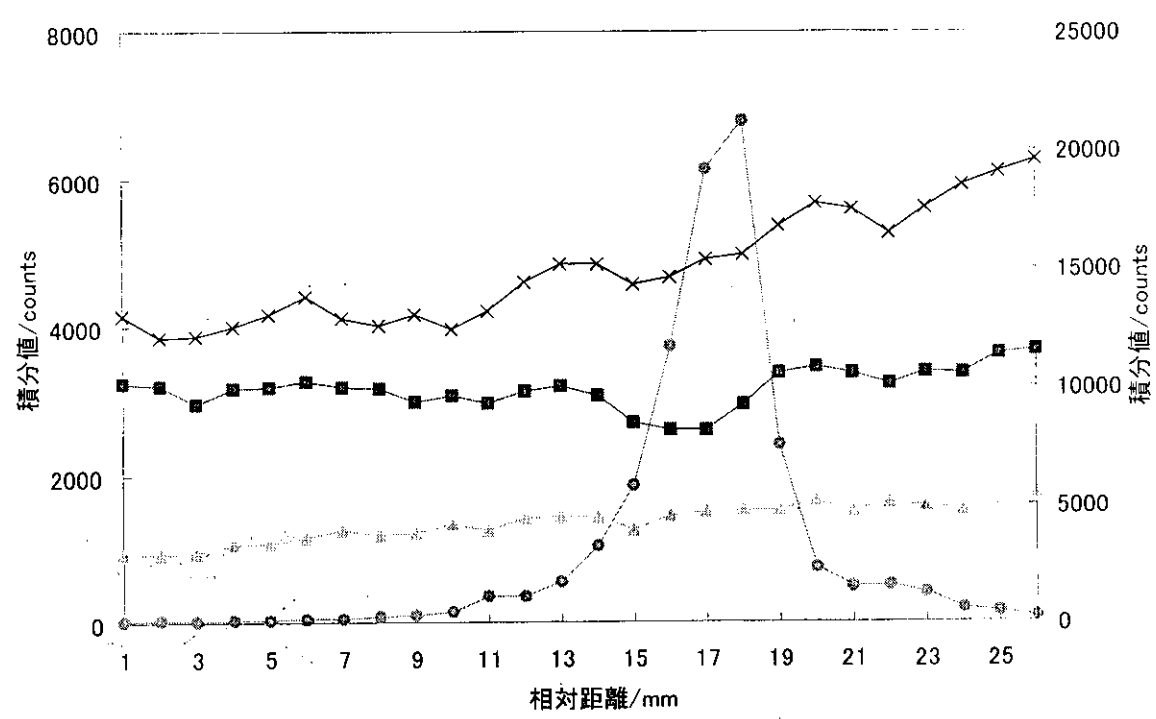
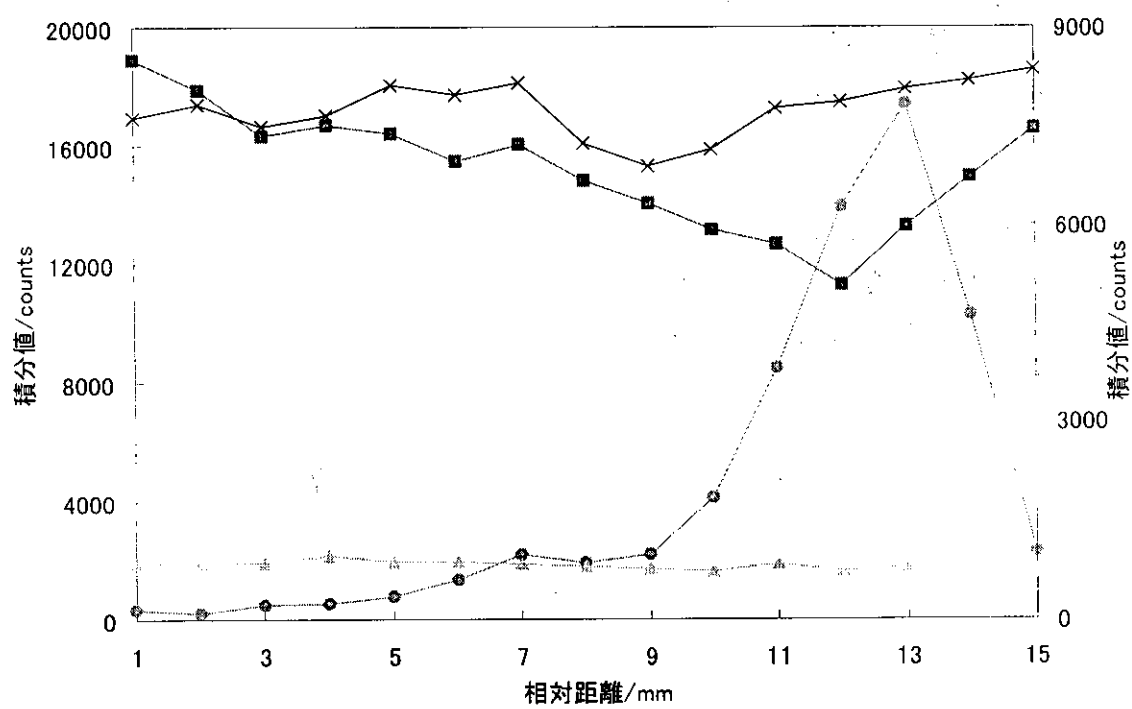


図 3 急性ヒ素中毒患者の伸張方向の毛髪のエレメント分析  
 ビームサイズ: 2(H) × 1(V) mm<sup>2</sup> 計測時間: 1点200秒  
 (●: As ▲: Cu ■: Zn ×: S)

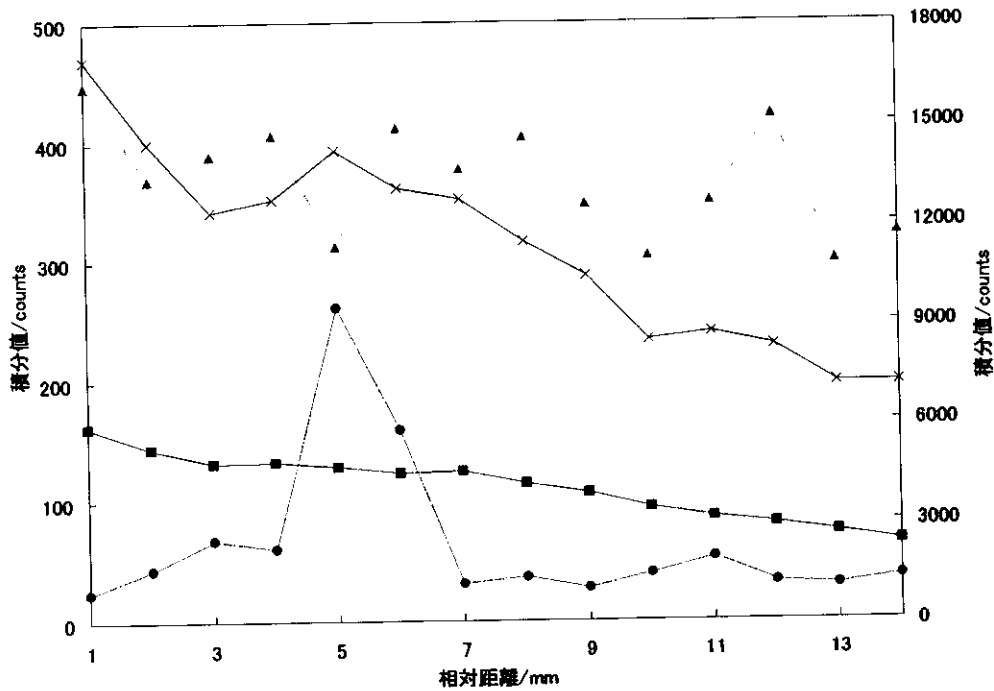


図 4 急性ヒ素中毒患者乳児の毛髪伸長方向の元素強度分布

(●:As ▲:Cu ■:Zn ×:S)

#### b. 臍帯

これらの試料は急性中毒発症時に妊娠中であつた方から出産後に提供いただいたものである。図5及び6に2つのケース(G、H)についての測定の結果得られた蛍光X線スペクトルを示す。臍帯中から明らかに砒素が検出されていることがわかる。分析した4つの試料のうち1試料は砒素が検出されていないことから、砒素が通常臍帯に含まれているのではなく、中毒由来の砒素と判断できる。

胎盤は胎児という母体から見た異物を免疫系の排除機構から保護する役目をもつと考えられており、胎盤の存在により

妊娠中母体と胎児の血液は直接交じり合うことはなく、胎盤中の絨毛において母体の血液から酸素や栄養素、抗体タンパク質時にはウイルスや薬物などを受け取り、胎児側からは二酸化炭素や老廃物が放出される<sup>3)</sup>。この過程の後、胎児の血液は臍帯を通過して胎児へと運ばれる。このように臍帯は、胎盤によって母体と隔てられた胎児へ直接つながるものであり、胎盤の胎児側の組織であるこの部位に砒素が存在していることから、胎盤を通過した砒素が胎児へと移行することを示している。中毒における催奇性が直接的に砒素に原因していることも考えられる。

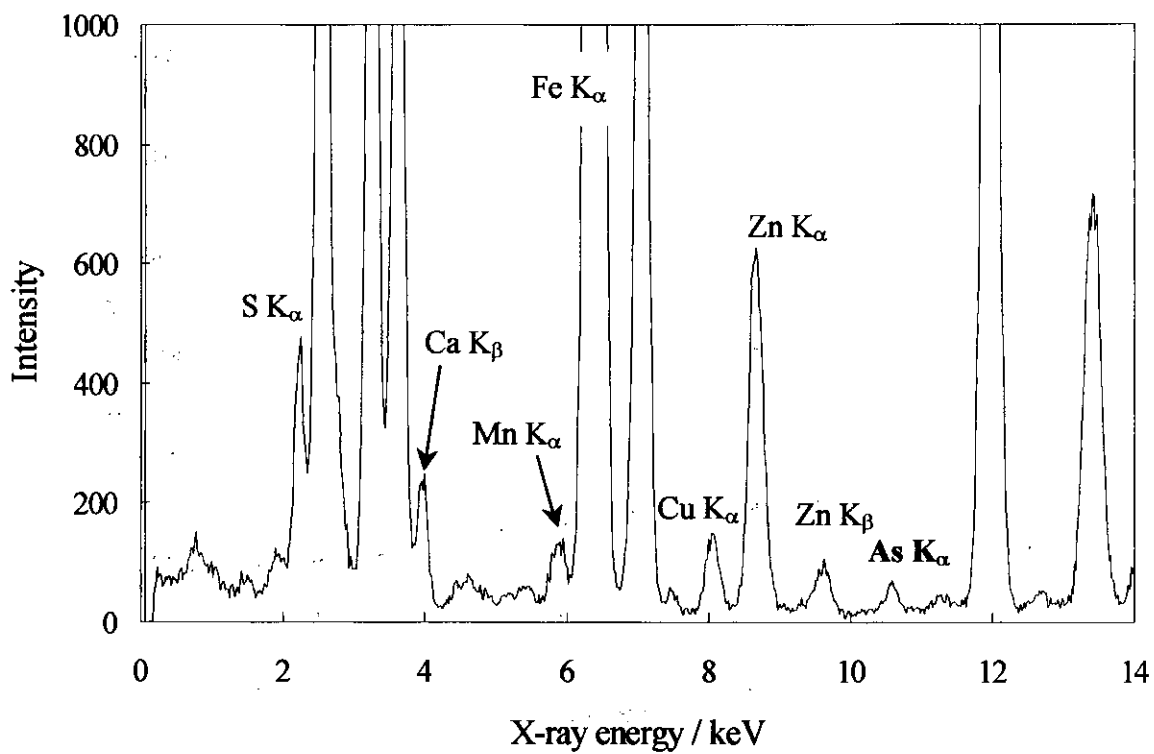


図5 急性ヒ素中毒患者(G)の臍帯の蛍光X線スペクトル

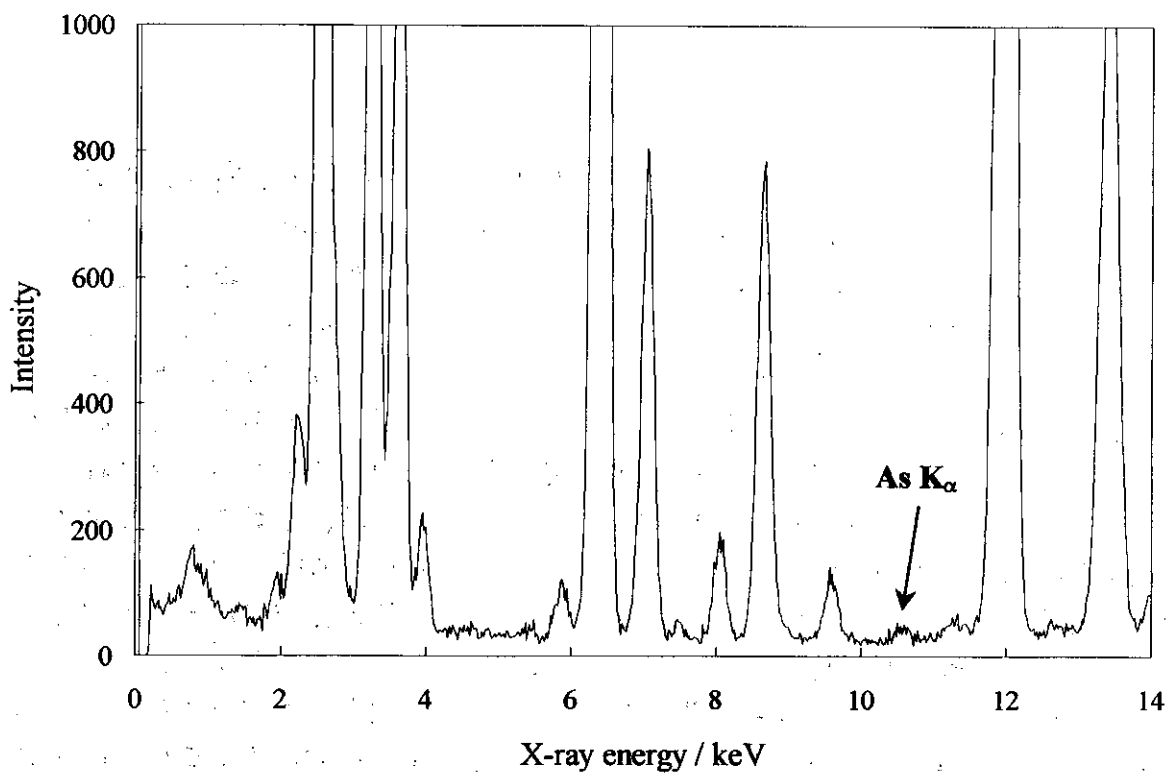


図6 急性ヒ素中毒患者(H)の臍帯の蛍光X線スペクトル

#### D. まとめと今後の課題

急性中毒患者の母親から生まれた新生児の毛髪および、その臍帯からは砒素が検出され、砒素が胎児へ移行する事が初めて見いだされた。今後は、動物実験により胎児における、砒素の分布を解明する研究により、砒素の胎児への移行プロセスが解明されるであろう。一方、胎児が摂取した砒素の身体影響については未知な部分が多いが、砒素の移行が明らかになったことにより、新生児への長期的な治療・観察が必要といえる。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたって貴重な資料をご提供いただき、問題点を提起して下さいました聖マリアンナ医科大学予防医学教室 山内 博先生、仁藤裕子先生に深く感謝いたします。また、放射光蛍光 X 線分析においてご協力をいただいた東京理科大学理学部 寺田靖子、片岡正樹、清宮貴美子各氏に厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 桜井弘：金属は人体になぜ必要か p160-164, 講談社 (1996).
- 2) 三田達：高分子大辞典, 丸善 (1994).
- 3) 山田英智、市川厚、黒住一昌監訳：ブルーム・フォーセット 組織学[II], 廣川書店 (1991).

## 厚生科学研究費補助金 (生活安全総合研究事業)

### 分担研究報告書

# インド共和国西ベンガル州における砒素曝露評価及び砒素の 生体内動態に関する研究

分担研究者 安藤正典 国立医薬品食品衛生研究所、環境衛生化学部長

協力研究者 徳永裕司 国立医薬品食品衛生研究所

協力研究者 内野 正 国立医薬品食品衛生研究所

協力研究者 Tarit Roy Chowdhury 国立医薬品食品衛生研究所

**研究要旨** インド共和国西ベンガル州のガンジス川流域の Mushidadad 地区を平成 12 年 12 月 4~7 日に訪れ、井戸水、尿、毛髪を採取した。得られた試料中の砒素を含む 17 元素を ICP-MS 装置で、また、尿中砒素の代謝物の測定を HPLC/ICP-MS 装置で測定した。対象家族 12 家族で構成員数は 51 人であり、男女の内訳は男性 26 名、女性 25 名であった。13 才以下の子供は 18 名であった。飲料水中の砒素濃度は 2.7~154ppb の範囲であった。井戸水に 10  $\mu\text{g/g}$  以上を含まれる元素は Fe, Mn, Mg, Cu, Zn 及び Pb であり、毛髪中の砒素濃度は 0~16  $\mu\text{g/g}$  であった。それらの内、砒素濃度と有意な相関性 ( $P < 0.01$ ) を示した元素は V, Sb, Se, Ag, Sn, Cd, Cr, Mn であった。尿中の砒素濃度と有意な相関性 ( $P < 0.01$ ) を示した元素は V, Cr, B, Ni, Ag であった。毛髪中の砒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。なお年齢と毛髪中の砒素濃度の間に有意な相関は見られなかった。成人女性の毛髪の場合、毛根部の毛髪中の砒素濃度が他の部分のものより有意に濃度が高かった。砒素代謝に関連する化合物として、As(III), As(V), メチルアルソン酸(MMA)及びジメチルアルソン酸(DMA)を対象とし、尿中の As(III), As(V), MMA 及び DMA を測定した。As(III), As(V), MMA 及び DMA の尿中量は、それぞれ、0~79.7ppb、0~163.5ppb、0.2~41.1ppb 及び 0.8~201.8ppb であり、それらの平均値は、それぞれ、9.2, 4.6, 6.2 及び 39.1ppb であった。それら 4 種類の砒素量の和を total As とした場合、total As は 1.3~291ppb であり、その平均値は 59.2ppb であった。砒素の代謝物と total As の比である (MMA+DMA)/total As (%) を見た場合、その平均値は 83.2% であった。2 人の男子 (2 才及び 13 才) の場合、それらの比が 27.3 及び 16.5% であり、明らかに他の人々と違った代謝パターンを示した。インドの飲料水中の砒素基準 (50ppb) 以上の砒素を井戸水から摂取している 9 家族を対象に検討を行った。尿中の As(V) と As(III), MMA あるいは DMA との間に統計的に有意な相関性がなかった。しかし、砒素の代謝物である As(III), MMA 及び DMA の各濃度との間に相関性 ( $P < 0.01$ ) が成立し、インドの飲料水の砒素基準を越えた水を飲料に用いている A-E および G-I の家族は、各個人的に砒素の代謝酵素の活性に大きな違いがなく、摂取された砒素化合物を正常に代謝し、尿中に排泄していることが示唆された。それら 9 家族の夫婦を抽出し、男女間での尿中砒素の代謝物である As(III), MMA, DMA の関連性を検討した。



食習慣の同じ夫婦の間での尿中の砒素化合物の濃度は有意な相関性 ( $p < 0.05$ ) がった。住民の年齢と尿中の (MMA+DMA) の量と Total As との間には、関連性は認められなかった。年齢が低い子供の尿中に (DMA+MMA) あるいは total As の量が高いことが観察された。

## A 研究目的

本研究課題では、砒素の体内動態及び生体影響を研究することを目的に大規模な地下水の砒素汚染が報告されているインド共和国西ベンガル州のガンジス川流域のデルタ地帯を訪れ、地下水を飲料水として用いている住民で既に砒素による被害が現れている家族を対象に飲料水、各家族の尿、毛髪を採取し、砒素の生体影響研究としての曝露評価研究と砒素の生体内動態について検討した。

## B 研究方法

平成12年12月4～7日にインド西ベンガル州のMushidabad地区Domkalブロックで採取したヒト尿中の砒素化合物（代謝物を含む）の分析を行った。なお、その際に採取した試料は、尿以外に毛髪及びその家族が食料として用いている食品材料も同時に採取した。対象家族は、砒素汚染された地下水を飲料水として用いることにより、皮膚症状が発症して家族を対象とした。なお、既に、砒素汚染のない水に飲料水を変えた家族も今回の調査対象に含んでいる。家族数はA～Lの12家族で、その構成員数は51名であった。その内訳は男性26名、女性25名であり、20才未満の子供は21名であった。井戸水は tube-wellより採水し、ポリエチレン製共栓付き遠沈管に入れた。なお、井戸水約10ml当たり、1滴の濃硝酸を保存剤として加えた。尿は1回尿と24時間尿を採取し、

その約10mlをポリエチレン製共栓付き遠沈管に採取した。毛髪は側頭部から約0.1～0.5g採取した。現地において、採取後の井戸水及び尿は、氷の入ったice-boxに保存し、研究室では-30℃のfreezerに保存した。使用時に解凍して用いた。

### B-1. 井戸水あるいは尿及び毛髪中の砒素を含む17元素の分析

井戸水(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、尿はミリQ水で25倍希釈し、その100  $\mu$  lを用いてICP-MS装置での測定を行った。

毛髪は根元から約3 cmまでの長さものをミリQ水で洗浄後、その約10～30mgを精密に量り、テフロン製容器に入れ、硝酸/過酸化水素水混液(3:1)5mlを正確に加え、密栓して一晚放置した。MARS 5型 microwave oven (CEM社) にテフロン製容器を装着し、3段階の加熱条件で疎解を行った。第1段階は80 PSIまで昇温時間20分、そのPSIで10分間、第2段階は120 PSIまで昇温時間5分、そのPSIで10分間、第3段階は150 PSIまで昇温時間5分、そのPSIで10分間行った。疎解後、30分間放冷し、ミリQ水を加えて正確に25mlとし、試料溶液とした。測定装置は島津製LC-10AD型HPLCポンプを連結したHP4500型 ICP-MS装置を用い、1ml/minの送液を行った。試料溶液100  $\mu$  lをピク製のReodyneカートリッジを用いて注入し、各種元素の測定を行った。測定元素はB, Mg, V, Cr, Fe,

Mn, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Sn, Sb, Hg 及びPbの17元素であった。予め作成した検量線より試料中の元素量を求めた。ICP-MS装置の各パラメータは下記のものであった。

RF出力：1249 W、RF反射：<5W、プラズマガス流量：アルゴンガス15 L/min、キャリアガス流量：アルゴンガス0.8 L/min、モニタリング質量m/z11 (B), 24 (Mg), 51 (V), 53 (Cr), 54 (Fe), 55 (Mn), 60 (Ni), 63 (Cu), 66 (Zn), 75 (As), 82 (Se), 111 (Cd), 118 (Sn), 121 (Sb), 202 (Hg) 及び208 (Pb)、積分時間：0.1sec、スキャン回数：1回

#### B-2. 尿中の砒素化合物の分析

尿中の砒素化合物の分析は、尿検体20  $\mu$  lをHPCL-ICP/MS装置に注入し、測定を行った。予め25ppb及び100ppbのAs (III), As (V), MMA及びDMAを含む0.1%7ジ化ナトリウム溶液20  $\mu$  lを用いて作成した検量線より、尿中の砒素化合物濃度を求めた。用いたHPLC条件は以下の通りであった。

(HPLC条件)

検出器：Agilent 7500型 ICP/MS装置

カラム:Gelpack GL-IC-A15(4.6mm i. d.  $\times$ 150mm, 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  $\mu$  eq/col)、カラム温度:35 $^{\circ}$ C、移動相:10mMリン酸緩衝液(pH6.0)、流量:1 ml/min

Agilent 7500型 ICP/MS装置の各パラメータは下記のものであった。

RF出力：1300 W、RF反射：<5W、プラズマガス流量：アルゴンガス15 L/min、キャリアガス流量：アルゴンガス0.82 L/min、モニタリング質量m/z35 (Cl), 75 (As)、積分時間：0.3sec、スキャン回数：1回

## C 研究結果

C-1. 井戸水あるいは尿及び毛髪中の砒素を含む17元素について

### C-1-1. 水溶液中の砒素の安定性

フィルターでの試料採取及び輸送中の砒素の損失(他の元素との共沈、器壁への吸着、細菌の繁殖等)による影響を調べるため、As(III) 50 ppbのミリQ水または0.1%硝酸を共栓付きポリエチレン製遠沈管に入れ、砒素の安定性を検討した。0~7日間、4 $^{\circ}$ Cと室温で検討し、その結果をTable 1に示した。

Table 1から解かるように、砒素50ppbを水あるいは0.1%硝酸に添加してポリエチレン製容器に放置しても7日後でも砒素の回収率に影響を与えないことが分かった。しかし、調査地の西ベンガル州のガンジス川のデルタ地帯の井戸水は鉄イオンの含量が高く、数10分の放置でも酸化鉄の生成による水の混濁が起こることが経験されている。そのため、井戸水の採水後、直ちに10ml当たり1滴の濃硝酸を加えた。

なお標品(硝酸及び過酸化水素添加または未添加)の面積値の日内変動は5%未満、検量線の傾きの日間変動は20%未満であった。Table 2に検討した17元素の検出限界を示した。

Fe、Zn、Mn、Cu、Bは検出限界が1ppb以上と高く、Hg、Cd、Sb、V、As、Cuは検出限界が0.1ppb未満と低かった。

### C-1-2. 井戸水の各種元素について

インドは大家族制を取っており、A~Lの12家族が対象であったが、A~Eの家族は兄弟の一家が一つの敷地内に独立した平屋を構え、同一のtubewellを共同で使用していた。G~Iも兄弟の一家で同一のtubewellを使っていた。従って、A~E家

族、F家族、G～I家族、J家族、K家族及びL家族の7本のtube-wellから得られた井戸水中の17元素の含量をTable 3に示した。インドでの飲料水中の砒素の基準は50ppb以下である。F家族、K家族及びL家族の使用する井戸水中の砒素濃度は、それぞれ、23.9, 2.7及び7.3ppbであった。これら家族の一員に砒素による被害が出ているが、以前その地域を調査した Jadavpur UniversityのDr. Chakraborti 教授の薦めに従い、既に、砒素汚染のない水に井戸水を変えた家族であった。A～E家族、G家族及びJ家族は、それぞれ、72.6, 154及び170ppbのインドの砒素基準を越えた井戸水を摂取していた。Mgがどの井戸水からも高濃度に検出され、その平均値は4.4ppmであった。砒素との関連性が言われている鉄は使用する井戸により大きなばらつきがあり、0～2.3ppmの範囲にあった。

### C-1-2. 毛髪中の各種元素について

A～Lの12家族、51名の住民から採取した毛髪中の17元素の測定結果をTable 4-1及びTable 4-2に示した。

それらの平均値及び最大値並びに最小値も同様に示した。

毛髪中に存在する元素を平均値を用いて多いもの順に見てみると Mg(399ppm)、Fe(230ppm)、Zn(223ppm)の順序であった。毛髪中の砒素は0～15.9ppmの範囲にあり、51名の住民の毛髪中の砒素の平均値は3.4ppmであった。

### C-1-3. 尿中の各種元素について

A～Lの12家族、51名の住民から採取した毛髪中の17元素の測定結果をTable 4-1及びTable 4-2に示した。それらの平均値及び最大値並びに最小値も同様に示した。毛髪中の砒素は0.05～50ppmの範囲にあり、51名の住民の毛髪中の砒素の平均値は0.94ppmであった。

Table 1 Stability of As(III) in water and 0.1% nitrotic acid

	water, room temp.	water, 4°C	0.1% HNO <sub>3</sub> room temp.
0 day	100±1.2	-	-
4 day	96.4±2.4	96.0±1.5	98.9±1.9
7 day	106.6±2.0	102.1±0.5	106.6±2.6

Table 2 Detection limit of each element

	detection limit (ppb)		detection limit
B	1.4	As	0.04
Mg	0.7	Se	0.2
V	0.03	Ag	0.01
Cr	0.4	Cd	0.02
Mn	4.7	Sn	0.5
Fe	8.4	Sb	0.03
Ni	0.2	Hg	0.1
Cu	1.9	Pb	0.04
Zn	7		

Table 3-1 Amounts of 9 elements in drinking water

(unit: ng/g)

	As	B	Mg	V	Cr	Fe	Mn	Ni	Cu
A-E	72.6	19.2	4461	2.3	4	2328	584	10.4	2.5
F	23.9	18.9	4929	1.0	1.6	131	502	5.4	57.2
G-I(1)	155.0	8.8	4887	0.2	0	0	284	1.2	0
G-I(2)	153.0	22.1	3763	0	0	45.4	385	0	0
J	170.0	26.7	6379	0	0	417	802	7.5	0
K	2.7	26.4	3321	2.0	0	0	14.9	6.4	0
L	7.3	14.9	3152	0	0	0	596	2.2	0
平均	83.5	19.6	4413.1	0.8	0.8	417.3	452.6	4.7	8.5
最高	170.0	26.7	6379	2.3	4	2328	802	10.4	57.2
最低	2.7	8.8	3152	0	0	0	14.9	0	0

0.1% HNO3 were added in water samples

Table 3-2 Amounts of 8 elements in drinking water

(unit: ng/g)

	Zn	Se	Ag	Cd	Sn	Sb	Hg	Pb
A-E	1034.0	2.71	16.2	3.8	0	3.1	17.0	12.6
F	43.1	1.63	6.6	1.7	0	1.3	4.9	3.97
G-I(1)	2.4	0	0	1.0	0	0.6	2.1	0
G-I(2)	1.7	0	0	1.0	0	0.4	1.6	0
J	2.3	0	0	1.1	0	0.3	1.4	0
K	1.6	0.34	0	1.0	0	0.5	0.9	0
L	1.4	0	0	1.0	0	0.2	0.9	0
平均	155.2	0.7	3.3	1.5	0.0	0.9	4.1	2.4
最高	1034.0	2.71	16.2	3.8	0	3.1	17.0	12.6
最低	1.4	0	0	1.0	0	0.2	0.9	0

0.1% HNO3 were added in water samples

Table 4-1 Amounts of 9 elements in hair

(unit: ng/g)

	As	B	Mg	V	Cr	Fe	Mn	Ni	Cu
A-1	2843	10129	420889	1057	1389	204829	14987	1277	9861
A-2	2964	25452	380409	781	7818	139841	28823	4598	8777
A-3	1139	14512	293968	894	0	176032	16659	0	6355
A-4	1311	8578	318054	1018	2914	208397	23994	30.6	6294
A-5	4141	29703	378830	1189	2108	258200	27430	455	10993
B-1	1431	2775	209931	718	0	103461	9274	0	6176
B-2	4777	52815	375490	765	0	168863	14654	0	40221
B-3	1833	16626	353336	1561	2587	321264	22668	1433	43215
C-1	1578	43695	169344	509	2618	34095	6886	882	8313
C-2	1448	8341	371636	1560	1713	266314	12509	648	7797
C-3	2697	26173	367198	977	5547	146685	24019	2759	13402
D-1	1499	4004	181132	475	1299	52081	7881	933	6939
D-2	1630	9017	781078	2605	8839	485055	26461	16228	10060
D-3	1588	10903	298139	1142	1110	152625	28416	2661	6739
D-4	1262	48013	448304	1247	0	266329	14178	1435	1929
E-1	2750	16745	246993	854	2068	209133	9797	2241	1217
E-2	2064	37859	332131	629	0	150604	5742	2667	1994
E-3	1250	26181	176878	476	509	119378	4376	1317	1089
E-4	1652	34035	436003	2041	424	724371	20743	2128	1399
E-5	2277	56776	550135	351	2082	118606	15288	12036	2290
F-1	1061	28985	208631	472	1190	118625	6261	3604	1194
F-2	3651	343434	515479	764	1915	134528	16044	15358	2946
F-3	1124	69997	167741	482	792	96307	17261	902	1247
F-4	591	36445	195265	503	0	96156	13465	1564	1796
F-5	1077	12811	170145	480	0	96711	9553	2239	1537
G-1	15864	49284	238217	1080	2141	232403	10247	2326	2282
G-2	4912	83704	663119	3276	0	33746	144089	2415	2866
G-3	3857	112770	620296	2051	1058	278607	109011	3498	4275
G-4	12758	40526	412807	4179	8956	310801	44694	8150	1793
H-1	6890	22175	335538	3129	9169	271026	35327	6857	1997
H-2	7832	24465	143446	3033	10333	56630	15987	10377	3064
H-3	2208	14685	484923	1386	2408	16980	118569	3604	1018
H-4	3428	53483	494049	2783	7628	114553	53557	10299	3463
H-5	13983	17436	646773	3874	5470	665674	54674	3894	1581
H-6	7892	6931	91078	1091	2753	0	8123	3917	1424
I-1	5604	57948	1244528	2665	12210	1707066	71319	54578	2212
I-2	2254	41834	983855	2156	13059	453605	71101	9738	2411
I-3	5062	44581	602112	2931	10970	246009	58120	11268	3215
J-1	7786	52300	241190	2025	7673	124915	27270	7567	3019
J-2	7509	96833	793359	4132	10449	570891	108769	13007	2734
J-3	10267	86733	434748	3194	13982	310772	32971	11378	3227
J-4	5677	18212	498791	3628	5354	505873	53574	5993	1659
K-1	367	10133	250364	218	3687	218376	12684	1423	0
K-2	0	36690	504562	0	13385	137074	15658	0	0
K-3	0	25858	237305	0	6385	13045	6011	8045	0
K-4	0	0	109337	0	5044	31555	1636	2172	0
L-1	0	16497	91084	0	3806	21158	3965	4966	0
L-2	0	41154	425003	0	8174	3416	39826	0	0
L-3	89.2	68698	455295	515	5549	7043	46877	9104	2124
L-4	31.9	54408	467993	0	9705	180657	17469	15798	4361
L-5	0	4439	531114	1602	5866	356602	11793	2045	1927
平均	3410	40309	398981	1422	4552	229744	30798	5683	4989
最高	15864	343434	1244528	4179	13982	1707066	144089	54578	43215
最低	0	0	91078	0	0	0	1636	0	0

Table 4-2 Amounts of 8 elements in hair

(unit: ng/g)

	Zn	Se	Ag	Cd	Sn	Sb	Hg	Pb
A-1	210007	846	1631	1185	1870	449	3254	3330
A-2	269182	579	2419	2275	1034	630	2089	503
A-3	210275	632	804	1476	1192	277	1554	133
A-4	221920	426	753	1616	201	258	1161	1161
A-5	228962	606	1379	1654	1187	286	1203	2485
B-1	183113	104	1301	2052	0	384	836	146
B-2	234978	395	2749	2254	116	364	943	557
B-3	176806	238	13938	27305	923	289	1989	11549
C-1	218625	0	916	1313	1929	367	1667	679
C-2	144541	385	1605	2427	964	352	809	2135
C-3	193291	336	4182	1893	792	645	839	531
D-1	153707	937	1043	1230	601	258	783	125
D-2	160641	1089	4404	5548	914	424	1117	2036
D-3	157831	0	3112	11213	822	321	715	2197
D-4	273998	212	2428	2770	1482	0	7705	0
E-1	190088	162	419	217	5781	0	3909	13476
E-2	281702	0	503	124	774	0	4196	209
E-3	192577	180	174	97.8	0	0	1718	423
E-4	211802	0	241	128	840	0	2040	2902
E-5	224177	0	125	255	0	0	2351	301
F-1	218427	0	969	232	0	0	1093	491
F-2	288922	0	308	210	2493	0	1528	3373
F-3	170534	1157	513	402	0	0	908	17261
F-4	221592	1210	523	273	471	0	1320	12427
F-5	235185	0	335	328	532	0	1166	11073
G-1	201682	0	2610	1505	678	0	1174	1448
G-2	280498	2495	2213	26574	0	0	797	229
G-3	259957	0	4398	11115	699	0	1590	8818
G-4	138955	3837	45135	19886	6750	2166	9115	3056
H-1	157319	4006	9487	2730	4813	1743	6010	14213
H-2	76073	4880	2200	2702	6404	2685	4079	331
H-3	238711	2277	3548	6086	701	854	2155	30177
H-4	211011	4994	5151	3537	4390	2204	3669	414
H-5	193241	2542	22853	19576	2658	1000	5114	42608
H-6	214881	2467	535	994	937	932	2641	0
I-1	283911	3035	2401	1628	3308	1217	2333	2241
I-2	295918	3972	3577	2512	3282	1339	5040	90766
I-3	556768	4744	17204	5259	4051	1833	5345	530
J-1	293408	3513	773	1708	3257	1694	2410	357
J-2	349002	4219	8932	3243	3914	1735	2257	92404
J-3	332789	4234	18998	6044	3299	1717	3431	39069
J-4	313915	3117	18414	8112	1930	1109	1888	146898
K-1	143666	337	737	0	1329	53.1	4538	306
K-2	208374	254	1154	0	0	0	6510	0
K-3	152524	0	913	0	0	0	8010	0
K-4	95765	68.4	350	0	0	559	7048	0
L-1	78316	0	566	0	0	0	2281	0
L-2	214999	0	2195	506	0	0	2257	0
L-3	229284	0	4036	2971	0	57.3	525	685
L-4	406600	208	1340	0	478	301	1141	9147
L-5	179611	155	2305	359	86.4	39.5	668	124
平均	223138	1272	4486	3834	1527	560	2724	11242
最高	556768	4994	45135	27305	6750	2685	9115	146898
最低	76073	0	125	0	0	0	525	0

	(unit: ng/g)								
	As	B	Mg	V	Cr	Fe	Mn	Ni	Cu
A-1	499	1617	48784	0	204	294	0	33.4	25.3
A-2	374	1310	46673	0	172	188	7.26	25.5	3.26
A-3	630	3219	128937	0	181	804	58.2	46.5	0
A-4	887	3288	163040	0	202	413	8.7	50.2	0
A-5	431	1428	43223	0	65	374	88.7	35.2	12.4
B-1	382	1065	101562	0	140	386	37.9	35.8	0
B-2	372	1072	43124	0	134	0	276	70.2	0
B-3	437	2521	1147	0	224	931	0	54.1	13.9
C-1	388	1360	83857	0	94.7	652	31.5	42.5	2.04
C-2	382	437	69366	0	37.3	0	0	24.6	0
C-3	428	511	62681	0	24	0	8.5	27.7	0
D-1	585	1844	181902	0	238	422	16.9	53.4	0
D-2	1494	4921	211491	0	150	822	89.5	92.3	0
D-3	518	2818	48102	0	93	1674	14.2	119	0
D-4	348	1081	46338	0	67.1	1347	22.6	45.8	0
E-1	534	2215	103335	113	88.5	0	72.9	0	267
E-2	421	2252	72143	34.4	59.4	0	49.6	0	72
E-3	396	1340	145760	45.5	43.1	0	444	0	169
E-4	337	2145	135919	60.1	161	0	142	0	94.5
E-5	576	2978	177924	101	322	0	135	0	123
F-1	1039	1354	84148	87.1	275	0	145	0	152
F-2	1079	1041	132511	116	321	0	84.2	0	98.3
F-3	5000	0	650685	146	0	0	13387	0	726
F-4	1137	988	61446	117	196	0	199	0	98.2
F-5	2545	3288	250086	250	775	0	658	0	282
G-1	1492	2288	162802	211	470	5735	0	399	119
G-2	1568	1180	50052	79.1	163	2563	0	189	29.2
G-3	1488	686	40230	131	249	3930	0	267	42.5
G-4	1687	367	82781	200	481	9970	0	704	28.6
H-1	1572	720	132794	186	300	9794	0	663	42.8
H-2	1477	1039	97768	193	368	7606	0	529	0
H-3	809	1590	106208	81.3	180	2972	0	202	15.2
H-4	2205	2282	63816	183	441	5616	0	377	0
H-5	3588	4329	97730	91.2	202	2842	0	195	25.5
H-6	1055	1134	138988	182	136	18195	0	1104	0
I-1	635	233	143274	116	102	10585	0	664	0
I-2	981	1983	123738	187	365	6189	0	295	0
I-3	778	1222	134362	132	229	4784	0	166	31.2
J-1	1091	1075	89486	165	475	0	0	0	0
J-2	1406	551	79202	84	223	0	0	0	0
J-3	2185	1722	161009	174	701	0	73	0	0
J-4	1417	2225	86593	111	343	0	0	0	0
K-1	290	1127	40466	183	510	96.5	0	2.43	0
K-2	117	448	25400	55	15.4	0	0	0	0
K-3	207	542	35482	96.4	28.4	0	0	0	0
K-4	190	1131	48707	45.3	17.3	0	0	0	0
L-1	73.4	285	64629	49	14	0	0	0	0
L-2	51.6	181	230319	55.8	21.8	0	1.79	0	0
L-3	69.9	491	104760	37.8	18.4	212	0	0	0
L-4	104	620	14547	31.3	19.2	0	223	0	0
L-5	155	422	101067	66.8	23.9	0	0	0	0
平均	939.4	1489.5	108831.3	82.3	203.2	1949.0	319.1	127.7	48.5
最高	5000	4921	650685	250	775	18195	13387	1104	726
最低	51.6	0	1147	0	0	0	0	0	0

unit: ng/mg creatinine/10 ml urine

	(unit: ng/g)							
	Zn	Se	Ag	Cd	Sn	Sb	Hg	Pb
A-1	450	0	194	3.7	325	0	377	24.7
A-2	432	0	0	3.3	348	0	55.2	19.6
A-3	1149	0	0	5.6	472	0	42.7	29.6
A-4	1026	0	0	6.1	493	0	7.4	27.1
A-5	390	0	0	3.0	295	0	4.1	15.8
B-1	386	0	0	2.5	286	0	0	14.7
B-2	435	0	0	3.9	424	0	0	18.8
B-3	359	0	0	5.0	595	0	0	27
C-1	551	0	0	3.2	310	0	0	18.9
C-2	203	0	0	3.4	377	0	0	24.5
C-3	470	0	0	3.4	266	0	0	15.4
D-1	683	0	0	4.0	457	0	0	29.6
D-2	983	0	0	6.0	408	0	0	24.5
D-3	776	0	0	4.9	607	0	0	30.7
D-4	285	0	0	2.7	269	0	0	13.4
E-1	455	362	0	67.4	308	53.2	611	42.3
E-2	297	139	0	38.7	0	28.9	128	23.5
E-3	740	280	0	103.0	0	76.4	325	63.2
E-4	424	151	0	49.3	0	36.9	149	29.1
E-5	608	186	0	55.8	0	41.1	164	38.3
F-1	635	161	0	55.7	0	41.5	159	37.8
F-2	264	149	0	51.1	0	0	153.3	32.2
F-3	4052	1317	0	595.0	0	442	1770	335
F-4	486	128	0	41.3	0	30.5	118	26.5
F-5	2027	368	0	136.0	0	100	383	86
G-1	275	40.9	607	0	0	10.7	709	0
G-2	138	14.8	221	0	0	0	36.8	0
G-3	143	0	139	0	0	6.91	0	9.19
G-4	405	0	227	0	0	0	0	0
H-1	584	0	235	0	0	0	0	0
H-2	265	2.52	232	0	0	0	0	0
H-3	370	4.52	155	0	0	0	0	0
H-4	160	0	91.4	0	0	0	0	0
H-5	752	31.6	48.1	0	0	0	0	0
H-6	600	0	0	0	0	0	0	0
I-1	809	0	0	0	0	0	0	0
I-2	262	6.49	42.1	0	0	0	0	0
I-3	716	0	9.91	0	0	0	0	0
J-1	81.2	0	0	0	0	0	95.6	0
J-2	1.41	0	0	0	0	0	0	0
J-3	0	0	0	0	0	0	0	0
J-4	0	0	0	0	0	0	0	0
K-1	102	0	0	0	0	0	0	31.5
K-2	0	14.5	0	0	0	0	0	65.7
K-3	0	0	0	0	0	0	0	0
K-4	0	0	0	0	0	0	0	0
L-1	140	3.87	0	0	0	0	0	1.13
L-2	0	0	0	0	0	0	0	0
L-3	0	0	0	0	0	0	0	0
L-4	0	0	0	0	0	0	0	0
L-5	0	0	0	0	0	0	0	0
平均	477.8	65.9	43.2	24.6	122.4	17.0	103.7	22.7
最高	4052	1317	607	595	607	442	1770	335
最低	0	0	0	0	0	0	0	0

unit: ng/mg creatinine/10 ml urine



## C-2. 尿中の砒素化合物について

### C-2-1. 砒素化合物の HPLC クロマトグラム

As(III), As(V), MMA 及び DMA の 100ppb を含む溶液を調製し、その 20 $\mu$ l を用いて HPLC 測定を行い、その結果を Fig. 1 に示した。また、西ベンガル州の住民から採取した尿中の砒素化合物の HPLC クロマトグラムを Fig. 2 に示した。

各ピークは保持時間の短い順に、それぞれ、As(III) (保持時間 110 秒)、DMA (保持時間 160 秒)、MMA (保持時間 240 秒) 及び As(V) (保持時間 400 秒) である。住民の尿の HPLC クロマトグラムで保持時間約 100 秒に出現する小さなピークは As betain に由来するピークである。

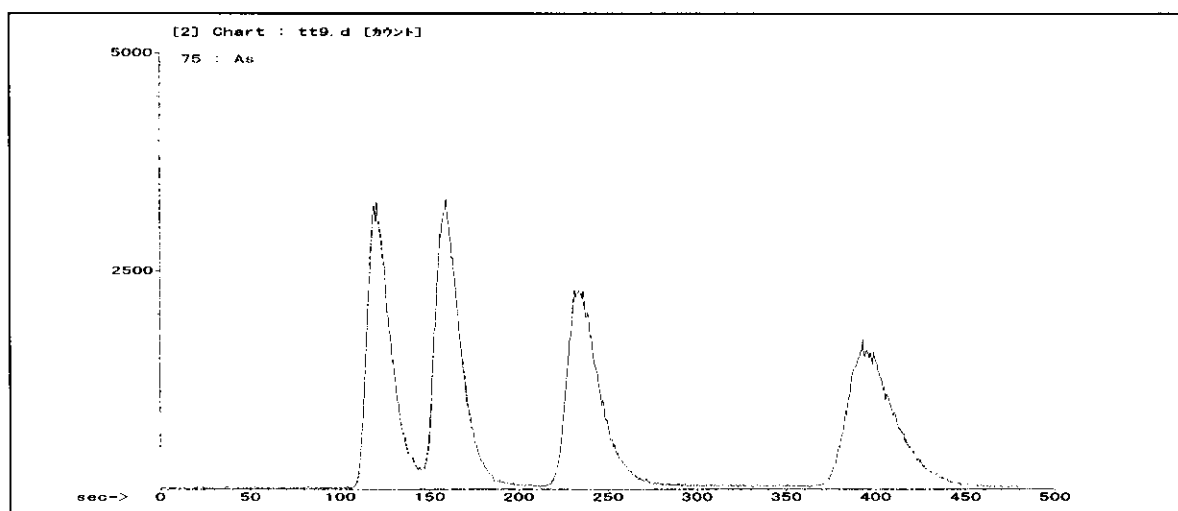


Fig.1 HPLC Chromatogram for As(III), DMA, MMA and As(V)

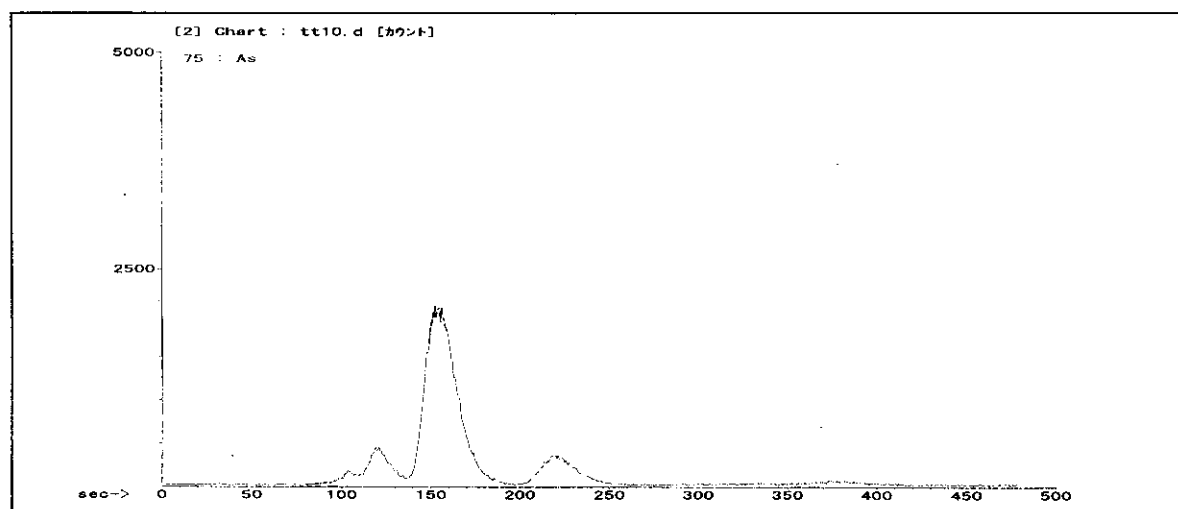


Fig.2 HPLC Chromatogram of As Speciation from D-1 Urine

C-2-2. 尿中の砒素化合物について

A~Lの12家族、51名の住民から採取した尿中の砒素化合物の測定結果をTable 6に示した。なお、尿中の砒素化合物濃度はppb/mg creatinine/dl urineで示した。

尿中の砒素の代謝物をs(III), As(V), MMA及びDMAと考え、尿中のそれら4化合物の総和をtotal Asとした場合、その値の範囲は1.3~291ppbの範囲であり、その平均値は59.1ppbであった。砒素代謝物とtotal Asの比である(MMA+DMA)/total As(%)を見た場合、その平均値は83.2%であった。

Table 6 As speciation in urine from A to L families

	sex	age	Water (ppb)	As(III) /creatinine	As(V) /creatinine	MMA /creatinine	DMA /creatinine	Total arsenic	MMA (%) / (MMA+DMA)	(MMA+DMA) /total (%)	MMA+DMA
A-1	M	40	72.6	1.88	0.47	3.51	23.92	29.78	12.8	92.1	27.44
A-2	F	30	72.6	1.87	0.40	1.62	18.05	21.94	8.2	89.7	19.67
A-3	M	4	72.6	2.29	1.01	4.89	29.57	37.77	14.2	91.3	34.47
A-4	M	8	72.6	4.19	1.21	5.84	40.30	51.54	12.7	89.5	46.14
A-5	F	10	72.6	1.86	0.45	1.82	21.65	25.77	7.8	91.1	23.47
B-1	M	35	72.6	2.37	0.63	1.75	14.10	18.85	11.0	84.1	15.85
B-2	F	25	72.6	0.94	0.66	0.86	10.76	13.23	7.4	87.9	11.63
B-3	M	2	72.6	0.08	1.11	2.08	11.84	15.10	14.9	92.1	13.91
C-1	M	30	72.6	2.13	0.48	2.61	16.21	21.43	13.8	87.8	18.82
C-2	M	4	72.6	15.72	4.37	7.79	28.03	55.91	21.8	64.1	35.82
C-3	F	23	72.6	2.95	0.95	2.65	17.23	23.77	13.3	83.6	19.88
D-1	M	28	72.6	3.02	1.17	4.10	18.90	27.20	17.8	84.6	23.00
D-2	M	3	72.6	5.13	1.91	8.50	63.39	78.92	11.8	91.1	71.89
<b>D-3</b>	<b>M</b>	<b>2</b>	<b>72.6</b>	<b>73.76</b>	<b>2.11</b>	<b>4.34</b>	<b>24.20</b>	<b>104.41</b>	<b>15.2</b>	<b>27.3</b>	<b>28.54</b>
D-4	F	22	72.6	4.75	0.64	1.80	15.06	22.25	10.7	75.8	16.86
E-1	M	56	72.6	1.21	0.58	2.18	16.51	20.48	11.7	91.3	18.69
E-2	F	45	72.6	1.79	0.46	1.78	21.22	25.25	7.7	91.1	23.00
E-3	M	24	72.6	2.28	0.77	2.51	13.81	19.36	15.4	84.3	16.32
E-4	M	28	72.6	1.58	0.74	2.66	15.25	20.22	14.9	88.5	17.91
E-5	F	20	72.6	6.63	1.09	4.42	15.56	27.70	22.1	72.1	19.98
F-1	M	45	23.9	4.37	2.31	2.91	30.80	40.39	8.6	83.5	33.71
F-2	F	35	23.9	5.46	2.95	3.75	40.30	52.47	8.5	84.0	44.05
<b>F-3</b>	<b>M</b>	<b>13</b>	<b>23.9</b>	<b>79.69</b>	<b>163.52</b>	<b>5.63</b>	<b>42.41</b>	<b>291.26</b>	<b>11.7</b>	<b>16.5</b>	<b>48.04</b>
F-4	M	10	23.9	4.52	1.05	3.25	51.70	60.52	5.9	90.8	54.94
F-5	M	7	23.9	12.08	3.98	7.21	61.90	85.17	10.4	81.1	69.11
G-1	M	40	154.0	9.42	1.20	9.66	60.23	80.51	13.8	86.8	69.89
G-2	F	15	154.0	16.61	1.36	13.27	100.53	131.78	11.7	86.4	113.81
G-3	F	33	154.0	7.09	1.39	13.10	88.47	110.05	12.9	92.3	101.57
G-4	F	12	154.0	20.48	2.24	22.14	89.46	134.33	19.8	83.1	111.61
H-1	M	55	154.0	17.35	2.49	15.98	88.52	124.33	15.3	84.0	104.49
H-2	F	40	154.0	13.93	2.29	12.43	75.28	103.93	14.2	84.4	87.71
H-3	F	20	154.0	5.29	0.77	3.70	54.43	64.19	6.4	90.6	58.13
H-4	F	20	154.0	33.46	2.84	41.10	112.60	190.01	26.7	80.9	153.70
H-5	F	3	154.0	25.80	4.23	29.84	201.75	261.62	12.9	88.5	231.59
H-6	M	26	154.0	10.14	1.22	6.05	23.36	40.78	20.6	72.1	29.41
I-1	M	48	154.0	6.61	3.55	4.65	36.36	51.17	11.3	80.1	41.01
I-2	F	40	154.0	5.64	6.60	5.88	43.38	61.50	11.9	80.1	49.26
I-3	F	16	154.0	9.11	3.97	7.09	46.67	66.84	13.2	80.4	53.76
J-1	M	32	170.0	6.64	0.00	10.85	41.15	58.64	20.9	88.7	52.00
J-2	F	25	170.0	8.91	0.72	5.02	78.42	93.08	6.0	89.6	83.45
J-3	F	8	170.0	21.69	0.55	7.83	95.76	125.82	7.6	82.3	103.59
J-4	F	6	170.0	6.41	1.02	14.04	77.50	98.95	15.3	92.5	91.53
K-1	M	45	2.7	0.50	0.39	0.85	2.67	4.42	24.2	79.9	3.53
K-2	F	35	2.7	0.44	0.00	0.62	3.66	4.72	14.5	90.6	4.28
K-3	F	13	2.7	0.15	0.32	0.22	1.80	2.49	10.8	81.2	2.02
K-4	M	10	2.7	0.17	0.22	0.39	2.45	3.22	13.7	88.1	2.83
L-1	M	44	7.3	0.32	0.75	0.44	2.34	3.85	15.9	72.2	2.78
L-2	F	32	7.3	0.05	0.00	0.44	0.83	1.31	34.8	96.5	1.27
L-3	F	15	7.3	0.13	0.11	0.26	2.50	3.00	9.4	91.9	2.76
L-4	F	9	7.3	0.00	0.10	0.21	1.16	1.46	15.3	93.4	1.36
L-5	M	5	7.3	0.09	0.10	0.34	2.04	2.57	14.3	92.5	2.38
<b>average</b>				<b>9.20</b>	<b>4.58</b>	<b>6.21</b>	<b>39.14</b>	<b>59.12</b>	<b>13.8</b>	<b>83.2</b>	<b>45.95</b>
<b>MAX</b>				<b>79.69</b>	<b>163.52</b>	<b>41.10</b>	<b>201.75</b>	<b>291.26</b>	<b>34.8</b>	<b>96.5</b>	<b>242.85</b>
<b>MIN</b>				<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.21</b>	<b>0.83</b>	<b>1.31</b>	<b>5.9</b>	<b>16.5</b>	<b>1.04</b>

## D 考察

### D-1. 井戸水あるいは尿及び毛髪中の砒素を含む17元素について

井戸水の試料数が7検体と少なかったため、17元素間の相関関係については検討しなかった。そこで、井戸水中の砒素濃度と毛髪中の砒素濃度について検討し、その結果をFig. 3に示した。

両者の間には有意な相関性が認められ、井戸水から高濃度の砒素を摂取するヒトは毛髪中の砒素濃度が高くなることが示された。井戸水中の砒素濃度と尿中の砒素濃度について検討し、その結果をFig. 4に示した。なお、尿中の砒素濃度は尿中のクレアチニン1mg当たりの濃度に補正した後、数値として示してある。

尿は男性26名と女性25名の尿に分け、○は男性尿を●は女性尿を示した。女性の場合、井戸水中の砒素濃度と尿中砒素濃度の間に  $y=9.95x-13.6$  ( $r=0.740$ ,  $p<0.001$ ) で示される関係が成立し、男性と女性の間には性差が存在することが示唆された。Table 7に男女の尿中及び毛髪中の砒素濃度の平均値を示した。男性と女性の毛髪中の砒素量は平均値は女性の方が統計的に有意 ( $p<0.05$ ) に高い値を示すことがわかった。

毛髪の成長は約1.2cm/月とされている。そこで、女性15人の毛髪を、それぞれ、根本から0~3cm、17~20cm、30~33cmの3ヶ所に分けて3cmずつ採取し、毛髪中での砒素の部位差の検討を行った。その結果をTable 8に示した。

毛髪の根元から30~33cmの位置にある部位のAsの平均値3770ppbに比べ、0~3cmの部分の砒素濃度2324ppb ( $p<0.05$ ) あるいは17~20cmの部分の砒素濃度1770ppb ( $p<0.01$ ) は統計的に有意に低い値を与えた。

毛髪中の砒素濃度とその他の16種類の元素との間の関連性を検討し、統計的に有意な相関性 ( $p<0.01$ ) を与えた砒素とV及び砒素とSeとの関係をFig. 5及びFig. 6に示した。それ以外にAg、Sb、Sn、Cd、Feが毛髪中の砒素濃度と統計的に有意な相関性を示した。

同様に尿中の砒素濃度とその他の16種類の元素との間の関連性を検討し、統計的に有意な相関性 ( $p<0.01$ ) を与えた砒素とV及び砒素とCrとの関係をFig. 7及びFig. 8に示した。それ以外にMg、Mn、Sb、Cd、Se、Hg、Pbが尿中の砒素濃度と統計的に有意な相関性を示した。

**Table 7 Average of As in masculine and feminine hair and urine**

	n	As in urine ng/mg creatinine	As in hair ppb
Male	25	839(562)	2698(3513)
Female	25	963(853)	4148(3820)

( ): standard deviation

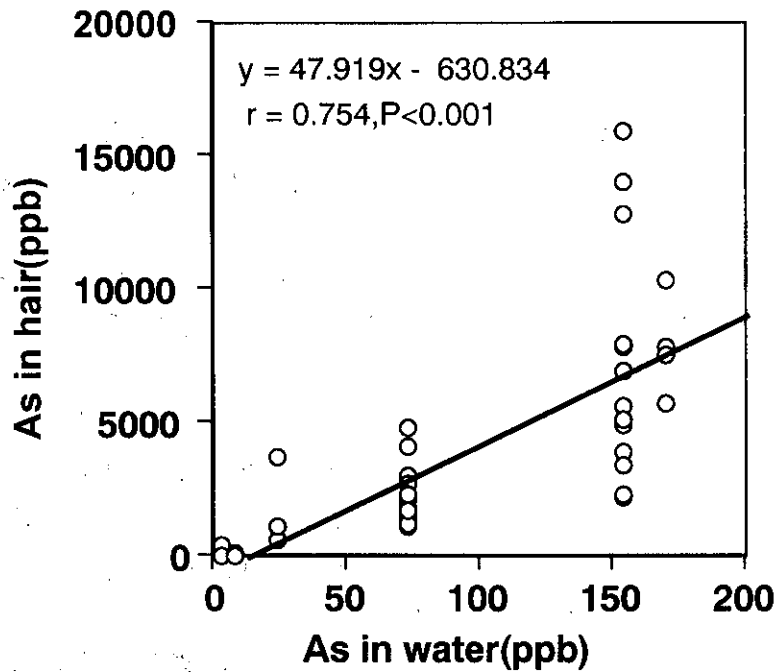


Fig.3 Relationship between As in water and in hair

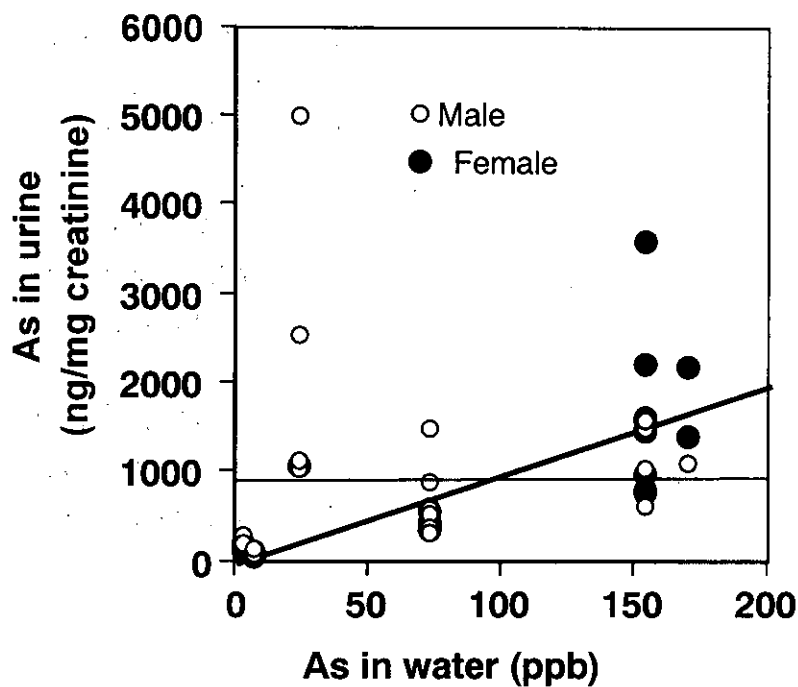


Fig.4 Relationship between As in water and in urine

Table 8 As in each part of femine hair

distance of tip of hair	n	As in hair ppb
short(0-3 cm)	15	2324(1548)
middle(17-20 cm)	15	1770(119)
long(30-33 cm)	15	3770(1945)

( ): standard deviation