

# *Arsenic Letter*

No.5



平成 12 年 6 月  
日本ヒ素研究会

## 目次

・ヒ素の許容濃度	-----1
大阪市立大学大学院医学研究科	圓藤 吟史
・ボヴァリー夫人の死	-----6
九州大学医学部	井上 尚英
・石炭中のヒ素およびその汚染について	-----8
鹿児島大学工学部	大木 章・中島 常憲
日本ヒ素研究会役員	-----19
日本ヒ素研究会規約	-----20
南日本新聞の記事	-----22
編集後記	-----23

## ヒ素の許容濃度

大阪市立大学大学院医学研究科 圓藤吟史

日本産業衛生学会の許容濃度等に関する委員会ではヒ素の許容濃度を審議し、この程、委員会案がまとまりましたので2000年4月の総会に暫定案として提案されました。1年間会員の意見を聴取しますが、日本ヒ素研究会の会員の皆様からも意見を戴ければ幸いです。

### 1. 許容濃度提案

過剰死亡リスク  $10^{-3}$  に対して  $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $10^{-4}$  に対して  $0.3\mu\text{g}/\text{m}^3$  (ヒ素として) (発癌分類 第1群)

### 2. 動物発がん性

5種類の発癌物質で前処理した F344/DuCrj ラットに 50,100, 200, 400ppm の DMA を 24 週経口投与した多臓器短期発癌試験の結果、50,100, 200, 400ppm 群で膀胱、200, 400ppm 群で腎臓、400ppm 群で甲状腺、200, 400ppm 群で肝臓において癌の誘導が認められた<sup>1)</sup>。

また、発癌物質を N-butyl-N-(4-hydroxybutyl)nitrosamine のみにし、2,10, 25, 50, 100 ppm の DMA を 32 週間投与したところ、10ppm 以上の投与群で、膀胱の乳頭腫および癌腫が有意に多発した<sup>2)</sup>。さらに、さらに発癌物質の前投与なしに 12.5, 50, 200 ppm の DMA を 2 年間投与したところ、50, 200 ppm の DMA 投与群で膀胱癌が認められている<sup>3)</sup>。これらのことから DMA は発がん物質およびプロモーターであると考えられる。

### 3. ヒトでの発がん性

ヒ素によりヒトで皮膚上皮内癌である Bowen 病、有棘細胞癌、基底細胞癌が多発することは多くの疫学研究で明らかにされている。肺癌は経気道曝露した労働者集団で多発しており証拠が十分であるとされている。その他、肝血管肉腫、腎・尿路・膀胱癌、髄膜腫など、多くの臓器発癌の事例、皮膚癌を中心とした重複癌の事例が数多く報告され、標的が多臓器にわたっている。<sup>4)5)</sup>

Wall によるとスウェーデンの銅精錬工場従業員 3919 名を対象にした疫学調査の結果、ヒ素曝露作業員では、肺がんとうがいの発生が有意に高く、曝露期間の長さとう発生率とが比例していた<sup>6)</sup>。

モンタナ州の銅精錬工場従業員 8047 名のうち 1800 名を対象にした疫学調査による<sup>7)</sup>と、TWA が  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  未満の作業員においては肺がんの SMR は 1.38 と有意でないが、 $100\text{--}499\mu\text{g}/\text{m}^3$  では SMR は 3.03、 $500\text{--}4999\mu\text{g}/\text{m}^3$  では SMR は 3.75、5000

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  以上では SMR は 7.04 と有意に上昇していた。また、累積曝露量では  $2000\text{-}12000\ \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$  の群で SMR が 4.00 と有意な上昇がみられた。

ワシントン州の銅精錬工場従業員 2802 名を対象にした疫学調査は過去何回も行われており累積ヒ素曝露量と肺がん死亡率(SMR)とは相関していることが報告されているが、1986 年まで追跡した報告<sup>8)</sup>によると、肺、大腸および骨のがんが有意に高く、SMR が 150 以上だったのは口腔咽頭、直腸、腎がんである。累積曝露量と呼吸器癌の SMR は、 $0\text{-}750\ \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$ (平均累積曝露量  $405\ \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$ )の群で 1.54 と有意でないが、 $750\text{-}1999$ (平均 1305)  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$  の群で 1.755、 $2000\text{-}3999$ (平均 2925)  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$  で 2.097、 $4000\text{-}7999$ (平均 5708)  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$  で 2.117、 $8000\text{-}19999$ (平均 12334)  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$  で 2.520、 $20000\text{-}44999$ (平均 28336)  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$  で 2.8.0、45000 以上群(平均 58957)  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$  で 3.157 とそれぞれ有意であった。

中国の錫鉱山労働者のケース-コントロール研究によると<sup>9)</sup>、累積ヒ素曝露濃度と肺がん発生のオッズ比との間には有意な正の相関があり、蓄積曝露量( $\text{mg}/\text{m}^3 \times \text{月数}$ )の平均が 0、11.5、46.6、97.5 の群に分けるとオッズ比はそれぞれ 1.0、6.5、24.6、21.1 で、97.5 の群のみ有意であった。40 年勤務した人が 11.5 LAEM になるのは TWA が  $24\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  のときである。彼らはヒ素のほかたばこ(water pipe)とラドンに曝露されているが、これらを補正してもオッズ比は累積曝露濃度と正の相関を示した。またこの結果では、曝露強度よりも曝露期間の方が肺がん発生の危険因子としてより重要であった。

環境中のヒ素濃度が  $0.3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  で、 $20\text{-}50\ \mu\text{g As/L}$  のヒ素を含有する飲料水を摂取している一般人においては、がんによる過剰死亡は見られなかった<sup>6)</sup>。

経口からのヒ素摂取量と皮膚がん発生との関係を 5 論文により検討した報告では、これらに直線関係が見られ、その閾値は約 100 ppb であったとされている<sup>4)</sup>。

乾癬の治療にヒ素を使用していた 8 名のリンパ球に染色体異常が見られている<sup>10)</sup>。彼らの総ヒ素投与量は  $300\text{-}1200\ \text{mg}$  であった。ヒ素剤治療群は染色体の切断(gaps and breaks)が無処置群に比べ有意に増加していた。同様にヒ素曝露労働者でもリンパ球の染色体異常が報告されている<sup>11)</sup>。

ヒ素中毒の患者のリンパ球でも染色体異常がみられている<sup>12)</sup>。

#### 4. 提案

ヒ素の毒性として最も問題になるのは発がん性である。ヒトでは無機ヒ素の曝露したことに起因し癌が発生していること、無機ヒ素は哺乳類の体内でメチル化されること、DMA 投与ラットで癌が発生すること、DMA に染色体異常がみられることから、ヒ素化合物による発がんは DMA ないしその近縁物質によると考えられる。従って、DMA を代謝物とするすべてのヒ素化合物を規制対象とすることが必要と考える。

当該因子による過剰死亡リスクを  $10^{-3}$  あるいは  $10^{-4}$  に設定するのが妥当と考えられる。

リスク評価には累積曝露量を基にした閾値なしの直線モデルが適当と考えられる。

(ヒ素曝露集団における生涯の過剰呼吸器癌死亡リスク)

$$= (\text{標準集団の全死因に占める呼吸器癌の割合 PMR}) \times (\text{SMR} - 1)$$

であるので、労働年数を 40 年間、過剰死亡リスクを  $10^{-3}$  とする曝露量は次式から求められる。

過剰死亡リスクを  $10^{-3}$  とする曝露量

$$= \frac{\text{累積曝露量}}{40 \text{ 年}} \times \frac{1}{\text{生涯の過剰呼吸器癌死亡リスク}} \times \frac{1}{1000}$$

全死因での死亡に占める呼吸器癌の死亡の割合 (PMR) は、次のように書き換えてもよい。(全死因に占める呼吸器癌の割合 : PMR)

$$= (\text{呼吸器癌死亡の期待値}) / (\text{全死因での期待値})$$

過剰死亡リスクを  $10^{-3}$  とする曝露量

$$= \frac{\text{累積曝露量}}{40 \text{ 年}} \times \frac{1}{\text{SMR}-1} \times \frac{\text{全死因での期待値}}{\text{呼吸器癌死亡の期待値}} \times \frac{1}{1000}$$

このリスク評価に用いるデータには、累積曝露量と SMR が必要とされる。これらが記載されている Enterline ら<sup>9)</sup>の報告を用いて過剰発がんリスクを算出する。全死因の期待値が 1028.5 に対し、呼吸器系の悪性新生物の期待値が 54.91 である<sup>10)</sup>ので、の平均累積曝露量が  $405 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$  の群の呼吸器癌の SMR の 1.54 から過剰発癌リスクを求めると、 $0.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  となる。ただしこの SMR は有意ではない。 $1305 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$  の群の呼吸器癌の SMR の 1.755 から過剰発癌リスクを求めると、 $0.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  となる。

平均累積曝露量が  $2925 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$  の群の SMR の 2.097 から過剰発癌リスクを求めると、 $1.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  となる。平均累積曝露量が  $5708 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$  の群の SMR の 2.117 から過剰発癌リスクを求めると、 $2.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$  となる。平均累積曝露量が  $12334 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$  の群の SMR の 2.520 から過剰発癌リスクを求めると、 $3.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  となる。平均累積曝露量が  $28336 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$  の群の SMR の 2.840 から過剰発癌リスクを求めると、 $7.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$  となる。平均累積曝露量が  $58957 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$  の群の SMR の 3.157 から過剰発癌リスクを求めると、 $8.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$  となる。

$0.35, 0.81, 1.25, 2.39, 3.8, 7.21, 8.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$  の値を平均すると  $3.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、幾何平均すると  $2.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、それぞれの値に期待値をかけて荷重平均すると  $2.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  となる。平均累積曝露量が  $405 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{Y}$  の群は有意な SMR でないので除外す



ると、平均は  $4.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、幾何平均は  $2.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、それぞれの値に期待値をかけての荷重平均は  $2.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  となる。

ヒ素は呼吸器癌のみならず全ての癌に対してリスクとなる。従って全死因での死亡率、全癌の死亡率の比は、その集団の全死亡の期待値と全癌の期待値の比から求められるので次の式が成り立つ。

$$\frac{\text{累積曝露量}}{40 \text{年}} \times \frac{1}{\text{SMR} \cdot 1} \times \frac{\text{全死因での期待値}}{\text{全癌の期待値}} \times \frac{1}{1000}$$

しかし残念ながら、累積曝露量群別の全癌の SMR の記載がなく計算ができない。ヒ素に汚染された飲料水を長期間飲み、皮膚癌が多発したデータから、リスク評価もされている<sup>14)</sup>が、経気道曝露による呼吸器癌対策として経気道曝露によるリスク評価を優先する。

N-butyl-N-(4-hydroxybutyl)nitrosamine を投与したラットに飲料水として 10ppm の DMA を 32 週投与し膀胱の乳頭腫および癌腫が有意に多発し、動物でプロモーターとしての働きが認められること<sup>2)</sup>。また飲料水として 50, 200 ppm の DMA 単独を 2 年間投与し膀胱癌が有意に発生し、DMA 単独で発癌性が認められる<sup>3)</sup>が、リスク評価としてはヒトでのデータを優先する。以上のことから、ヒ素を発がん物質第 1 群に分類し、過剰死亡リスクを  $10^3$  に対して  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $10^4$  に対して  $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  を提案する。

アルシンは急性毒性が強く、今までに死亡事故が発生しており、ヒトでの最小毒性濃度は  $9600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $325 \mu\text{g}/\text{m}^3$  である。アルシンも、酸化され、慢性影響としては他のヒ素化合物を同様と考えられ、他のヒ素化合物と同一の許容濃度としてよい。但し、アルシンの急性中毒を予防する意味から独自に天井値を設けることも考えられる。

## 5. References

- 1) Cancer Research 1995;55:1271-1276.
- 2) Carcinogenesis 1996;17(11):2435-2439.
- 3) Carcinogenesis 1999;20(9):1873-76.
- 4) Int Arch Occup Environ Health 1996;68(6):484-494.
- 5) Int Arch Occup Environ Health 1998;71:125-130.
- 6) Int J Epidemiol 1980;9(1):73-87.
- 7) Arch Environ Health 1982;37(6):325-335.
- 8) Occup Environ Med 1995;52(1):28-32.
- 9) Brit J Ind Med 1989;46:881-886.
- 10) Hum Genet 1979;48:1-6.

- 11) Hereditas 1978;88:41-50.
- 12) Can Med Assoc J 1979;120(2):168-171.
- 13) Am J Epidemiol 1982;116(6):895-911.
- 14) Environ Health Perspect 1992;97:259-267.

## 「ボヴァリー夫人の死」

九州大学医学部 井上尚英

「ヒ素による犯罪について歴史をたどっていくと、ギュスターヴ・フローベールの力作『ボヴァリー夫人』を避けて通ることはできない。この『ボヴァリー夫人』はフランス近代小説の祖、フローベールの最高傑作である。この小説には、主人公ボヴァリー夫人がヒ素を飲んで自殺を図り死に至るまでの経過がかなり具体的に描写されている。このヒ素中毒の記述は、きわめて優れているとされており、濫澤龍彦の言葉を借りると、「どんな臨床医の報告もおよばない綿密周到な描写が残されている」という。そこでヒ素による中毒症状についての記述の部分が指摘されているように果たして的確であるか否かを医学的立場から検証してみた。

主人公であるエンマ・ボヴァリーは、夕方の6時頃隣の薬局の倉庫に忍び込み、棚の中の背いビンに入った「白い粉をいっばいつかみとりだして、それをそのまま食べ始めた」。暫くすると「急に吐き気がした。枕の下からハンカチを取り出す間もないくらいだった」「ちょっと動いても吐きそうで、からだをじっとさせていた」。「8時にまた吐き気ははじまった」。医師である夫のシャルルは、エンマの吐いた「洗面器の底に白い砂利のようなものがあって瀬戸引きの内側についているのを発見した」。妻の異常に気付いたシャルルはそっと妻の脈をみってみた。「不整な脈拍はもう殆ど感じられないほど弱かった」。エンマの顔は、青ざめ、汗がにじんでいた。夫は妻に何を食べたか教えるように頼んだ。エンマは側に置いていた手紙を読むようにいった。その手紙の中に「毒を飲んだ」ことが記されていた。側に付きっきりでいた薬屋のオマーは、毒はなにかとたずねた。シャルルは手紙を見せた。毒はヒ素だった。オマーは、「それなら分析をする必要があります」と答えた。駆け付けた外科医であるカニヴェ医師は、診察をし、「胃をからっぽにするために、催吐剤を処方した」。「エンマはまもなく血を吐いた。手足は痙攣し、全身は褐色の斑点におおわれ、脈は張り切った糸のように」細くなっていた。その時、シャルルが最も信頼し、尊敬していたラリヴィエール博士がかけつけてきた。オマーは二人の医師に、エンマの症状を説明し始めた。「まず咽喉部に乾燥感を覚え、ついで心窩部に激痛を感じ、さらに猛烈な下痢が加わり、そして昏睡になってしまいました」。「博士、私は分析を試みたいと存じますが」。「それよりは、指をのどに突っ込んであげた方がよかったですよ」と外科の名医は言った。しばらくして、痙攣発作がエンマをおそった。ベッドの上に倒れ込んだ。もう死んでいた。

フローベールが『ボヴァリー夫人』を執筆していた1850年代当時、フランスでは毒殺事件が頻発しており、特にヒ素を用いた犯罪が数多く発生していた。一方では、ヒ素による自殺例も少なくなかった。こうした状況のもとで、フローベールはヒ素中毒に大いに関心を示し、この小説のドラマの八方塞がりめいた状況の劇的な決着にヒ

素中毒を見事に展開している。この小説におけるヒ素中毒症状の記述は、臨床的にみてあまりにも正確であり、作者の該博な知識には深い感銘を覚えた。これは、実際にヒ素中毒の患者を診た医師にしか書けない病歴そのものであり、父親を始めとするフローベール一族の医師たちの協力のもとに完成したことは間違いない。ヒ素中毒の治療で、なによりも大切なのは、催吐によるヒ素の排泄であるという名医の言葉は、フローベールが150年後の現代医療に対して大きな教訓を残しているように思われる。

## 石炭中のヒ素およびその汚染について

鹿児島大学工学部 大木章・中島常憲

石炭の主成分は、炭素、水素、酸素、窒素、イオウなどから構成される有機高分子化合物である。しかしながら、石炭は地殻の構成要素の一つであり、その生成に由来する多種類の元素も微量であるが含まれている。このような元素の中で、特に問題となるものは、有害性が高くかつ揮発性の高いものであり、重金属のヒ素、水銀、鉛、セレンなどがあげられる。土壌や岩石等他の地殻成分に比べて石炭中に特に有害元素が濃縮されているわけではないが、石炭は燃焼させなければ意味がなく、燃焼によってこれらの有害元素が環境中に放出される可能性がある。特に水銀は、最新型の電気集塵機と排煙脱硫装置を備えた石炭火力発電所においても、石炭中の30-70%は大気中へ放出されるといわれており、大きな問題となっている<sup>1)</sup>。地球規模における水銀の自然および人為排出において、最大寄与は石炭燃焼といわれている。また、石炭中のヒ素などは、大気中に放出される割合は少なくとも、フライアッシュ表面に高濃度に濃縮されることになり、このような灰の二次利用や廃棄のときに問題となる。本稿では、石炭中の重金属一般について述べた後、フライアッシュ中のヒ素および中国貴州省での高ヒ素含有炭による汚染について述べる。

### 1. 石炭中のヒ素等重金属について

石炭中に含まれる微量元素は、その毒性が環境へ及ぼす度合いにより、様々にランク分けされており、例えば米国ではヒ素、カドミウム、水銀、鉛、セレン等は最も影響の大きなグループに分けられている<sup>1)</sup>。また、各元素の揮発性やフライアッシュへの濃縮性により、表1のように3つのグループに分けられることもある<sup>2, 3)</sup>。

表1 石炭に含まれる微量元素<sup>3)</sup>

グループ I 非揮発性	グループ II 揮発 - 濃縮性	グループ III 揮発 - 非濃縮性
Al, Ca, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, Si 等	As, B, Be, Cd, Cu, Mo, Pb, Sb, Se, V, Zn 等	Cl, F, Hg 等
火炉内温度(1200-1600℃)では、ほとんど揮発せず、クリンカやEP(電気集じん器)灰へ濃縮することもない (ボトムアッシュ)	火炉内温度(1200-1600℃)では、揮発するが、電気集じん器内(低温EP:140℃)で凝縮して、それ自身で石炭灰を形成するか、または、他の石炭灰粒子表面に凝縮する (フライアッシュ)	火炉内温度(1200-1600℃)で一部、または、ほとんどが揮発し、煤煙脱硫装置(50-80℃)でもガス状で存在する (大気中へ排出)

ここでヒ素は、グループ II (揮発-濃縮性) に分類されており、火力発電所などで燃焼されると、一度は揮発しその後電気集じん器内で冷やされ凝縮し、フライアッシュ中に濃縮される元素である。よって、グループ III (揮発-非濃縮性) の水銀等のように煙突からかなりの部分が大気中に放出されるということはないが、フライアッシュの処理のときに問題となる。日本での石炭の年間消費量は、一般炭と原料炭を合わせて1億トンほどであり、石炭中には平均して10%程度の灰分が含まれるので単純計算で1000万トンの燃焼灰が生産されることになる。現在、燃焼灰の処置としては、約50%がセメントなどに、約20%が建築土木材料に使われ、残りは埋立地などに捨てられる。いずれにしろ、環境中に燃焼灰が拡散されているのは間違いないが、今後対策を検討していかなければならない問題であろう。

## 2. フライアッシュ中のヒ素

ヒ素がフライアッシュ中に濃縮しやすい理由は前に述べたが、実際どのくらい濃縮されるのであろうか。Silbermanらは、石炭や石油、coal-oil mixture (COM) 燃料や coal-water mixture (CWM) 燃料を燃焼させたときのフライアッシュ中のヒ素量を0.5 M 硫酸や1 M クエン酸などで水相へ浸出させることにより測定し、ヒ素がどのくらい濃縮されているのかを報告している<sup>4)</sup>。その結果、0.5 M 硫酸を用いた全ヒ素量の測定において、石油フライアッシュが小さな値を示したが、ほとんどのサンプルにおいて100-200 ppm の範囲であり、CWM フライアッシュでは300 ppm を超える値であった。この結果より、通常石炭中の全ヒ素濃度が数 ppm から多くとも数10 ppm であることを考えるとかなり高濃度にヒ素が濃縮されていることが分かる。

表2 フライアッシュからのヒ素浸出量<sup>4)</sup>

Ash	Citrate leachate		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> leachate	Total As	Citrate Total (%)
	As(III)	As(V)			
Oil ash	0.5	45.1	15.1	60.7	75
SCA <sup>a)</sup>	2.5	115	3.6	121	97
HCA <sup>b)</sup>	0	143	15.7	159	90
NBS <sup>c)-1633A<sup>d)</sup></sup>	0.6	115	11.3	127	91
CWM	3.0	300	27.7	330	92
COM	5.6	75	8.2	80.8	91
FBC <sup>e)</sup>	0	102	2.8	105	97
NBS <sup>c)-1633<sup>f)</sup></sup>	0.5	51.4	3.2	55.1	94

All concentrations in units of  $\mu\text{g As per g of ash}$ .

a) Stack-collected coal ash; b) ESP hopper coal ash; c) National Bureau of Standards

d) a stack coal fly ash from a single power plant; e) Baghouse ash from fluidized bed

combustor; f) a blend of ESP and mechanical collector coal fly ashes from five power plants

また、彼らは表2に示すように、フライアッシュ中のヒ素を価数別に定量することも試みている。3価のヒ素を5価に酸化しないようなマイルドな条件のリーチング剤として1Mクエン酸(pH5)を用い、フライアッシュ中からヒ素の浸出を行った。そのろ液中のヒ素は、大部分が3価よりも毒性の低い5価のヒ素であったが、CWMやCOMのフライアッシュでは3価のヒ素がそれぞれ3.0 ppm, 5.6 ppmほど含まれていた。また、1Mクエン酸では浸出しなかったヒ素を0.5M硫酸で浸出させ、クエン酸で浸出したヒ素量と合計して全ヒ素量を求め、1Mクエン酸のみでどの程度のヒ素が浸出したかを検討した結果、石油フライアッシュ以外は全ヒ素量の90%以上が浸出されており、彼らが行った1Mクエン酸によるヒ素の価数別定量の結果は妥当であるとしている。

### 3. 中国貴州省におけるヒ素汚染

中国大陸における、風土病的な慢性ヒ素中毒は現在大変深刻な問題となっており、新疆ウイグル自治区、内モンゴル自治区、山西省、貴州省など4省21県市で流行している。これらの地域でヒ素中毒が起こった原因は大きく二つに分けて考えられており、まず一つが、井戸水中のヒ素濃度が上昇し、飲料水を介して高濃度のヒ素を体内に取り込むタイプのものである。二つ目は高濃度のヒ素を含む石炭を暖房や炊飯のために燃焼することにより、空気、食物および飲料水がヒ素で汚染し呼吸器系、消化器系を介してヒ素を取り込み中毒を発生させるものである。貴州省の例は後者に当てはまる<sup>5,6)</sup>。石炭中に存在する重金属による汚染で、一番大規模でまた石炭燃焼との因果関係がはっきりしているのは、この中国貴州省での高ヒ素含有炭による汚染であろう。

貴州省は、中国の西南地区にあり、石炭の埋蔵量は中国国内第四位で、中国内でも主要な石炭産地となっている。1970年代末よりこの地域では、農民らが石炭鉱山を自由に採掘して、高濃度のヒ素を含有する石炭を家庭で使用するようになったため、急速に慢性ヒ素中毒が増加した。1991年から1992年にかけて行われた調査では、同省の6県市において約20万人の曝露人口があり、さらにその人数は拡大傾向にあるといわれている。この地域の石炭中のヒ素含有量はおよそ25-2200 ppmで前出のフライアッシュ中に濃縮されたヒ素の濃度よりも大きい。また、室内の空気中のヒ素濃度は0.003-0.01 mg/m<sup>3</sup>であり、大気中のヒ素汚染が進んでいるという点で、前出の飲料水を介して広まったケースよりも深刻であるといえる。Anら<sup>7)</sup>は貴州省内の2村(ヒ素汚染が深刻なBazhi村と汚染が少ないXinzhai村)の比較を行っている。

表3に示すようにBazhi村の環境中ヒ素濃度は桁違いに高いことが分かり、また石炭を用いてスモークされた食品もかなり高濃度のヒ素で汚染されている。

表3 環境中におけるヒ素濃度 (貴州省)<sup>7)</sup>

Specimen		N	Village of Bazhi	N	Village of Xinzhai
Coal	mg As/kg coal	4	2170±58	3	2.50±0.70
Air	mg As/M <sup>3</sup> air	12	0.111±0.05	12	0.0003±0.0001
Water	mg As/L	7	0.0052±0.0043	6	0.0024±0.0011
Rice (fresh)	mg As/L	9	0.26±0.16	5	0.14±0.16
Rice (polluted)	mg As/L	10	7.43±2.28	9	0.52±0.29
Maize (fresh)	mg As/L	9	0.44±0.25	6	0.17±0.15
Maize (polluted)	mg As/L	12	48.6±16.2	10	0.22±0.06
Chilli (fresh)	mg As/L	9	1.62±0.83	7	1.41±0.63
Chilli (polluted)	mg As/L	12	611±77	9	1.04±0.58

fresh : freshly harvested food

polluted : coal smoke for six months

#### 4. おわりに

石炭中に微量に存在する有害元素の研究は世界的に見ても端緒についたばかりであるが、米国等では1990年より大気清浄改正法は施行され、ヒ素や水銀をはじめとする11種の元素ならびにこれらの化合物が有害大気汚染物質に指定された。前述したように、水銀やセレンについては石炭燃焼が大気中への人為的放出源の第一原因であり、石炭中の微量有害元素の研究に注目が集まるようになった。毎年開催される石炭関係の主要国際会議であるPittsburgh Coal Conferenceにおいても、最近では石炭中の微量有害元素関係のシンポジウムが必ず設けられている。日本においては、石炭中の微量有害元素の研究はほとんどなされていないのが現状であるが、石炭は21世紀においても主要なエネルギー源の一つであることは間違いなく、今後この分野の研究の発展が期待される。

#### (参考文献)

- 1) L. B. Clarke, L. L. Sloss, "Trace elements" *IEA Coal Research*, IEACR/49, p. 14(1992)
- 2) R. M. Davidson, L. B. Clarke, "Trace elements in coal" *IEA Coal Research*, IEAPER/21, p. 40(1996)
- 3) 横山隆壽, *日本エネルギー学会誌*, 76, 1170(1997)
- 4) D. Silberman, W. R. Harris, *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, 17, 73(1984)
- 5) 孫貴範, 載国均, 高洪信, 吉田貴彦, 相川浩幸, 山内博, *第8回ヒ素シンポジウム講演集*, 大阪, p. 16(1997)
- 6) J. Ni, X-B. Feng, Y. Hong, *Environ. Chem.*, 17, 339(1998)
- 7) D. An, Y.G. He, Q. X. Hu, *Fluoride*, 30, 29(1997)



## 日本ヒ素研究会役員名簿（平成 12 年度）

### 会長

前田 滋 （鹿児島工業高等専門学校校長）

### 副会長

井上 尚英 （九州大学医学部教授）  
塩見 一雄 （東京水産大学教授）：総務担当  
松任 茂樹 （東海大学短期大学部教授）

### 顧問

石西 伸 （九州大学名誉教授、中村学園大学教授）  
戸田 昭三 （東京大学名誉教授、東京応化工業株式会社副社長）

### 理事

石黒 三郎 （古河機械金属株式会社顧問）  
圓藤 吟史 （大阪市立大学医学部教授）  
大木 章 （鹿児島大学工学部教授）：Arsenic Letter 編集担当、会計担当  
貝瀬 利一 （東京薬科大学生命科学部助教授）  
島田 允堯 （九州大学理学部教授）  
神 和夫 （北海道立衛生研究所）  
田川 昭治 （水産大学校名誉教授）  
千葉 啓子 （岩手県立盛岡短大助教授）  
花岡 研一 （下関水産大学校助教授）  
久永 明 （福岡県立大学人間社会学部教授）  
楨田 裕之 （九州大学医学部助教授）  
山内 博 （聖マリアンナ医科大学助教授）  
山岡 到保 （中国工業技術研究所・生体工学研究室長）  
山中 健三 （日本大学薬学部講師）

### 監事

高橋 章 （東海大学短期大学部教授）

### 名誉会員

John S. Edmonds （West Australian Marine Research Lab）  
Peter J. Craig （De Montfort University）  
石西 伸 （九州大学名誉教授、中村学園大学教授）  
戸田 昭三 （東京大学名誉教授、東京応化工業株式会社副社長）  
田川 昭治 （水産大学校名誉教授）  
山村 行夫 （聖マリアンナ医科大学名誉教授）

## 日本ヒ素研究会規約

### 総則

- 第1条 この研究会を日本ヒ素研究会 (Japanese Arsenic Scientist's Society; 略 JASS) と称する。  
第2条 事務局を日本ヒ素研究会会長の研究室におく。

### 目的および事業

- 第3条 この研究会はヒ素およびヒ素と関連した元素に関する研究の交流・提携および促進をはかり、学術・文化の発展に寄与することを目的とする。  
第4条 前条の目的を達成するため次の事業を行う。  
1. 学術講演会および研究集会 (ヒ素シンポジウム) の開催  
2. 研究情報誌の発行  
3. その他、目的達成のために必要な事業。

### 会員

- 第5条 この研究会の目的に賛同する個人および団体をもって会員とする。  
第6条 会員はこの研究会が行う事業を享受することができる。  
第7条 会員は会費を納入しなければならない。会費の金額は、別に定める。  
第8条 会員になろうとする者は、入会申し込み書を本会事務局に提出し理事の許可を受けなければならない。  
第9条 本会を退会しようとする時は、事務局に退会届を提出する。  
第10条 名誉会員は本研究会の発展に、特に功績のあった者および理事会が特に承認した者とする。名誉会員は、会費を免除される。

### 役員

- 第11条 この研究会に会長1名・副会長3名および顧問、理事若干名と監事をおく。  
第12条 会長は本会を総括し、副会長は会長を補佐する。会長は理事会を召集し、理事は理事会の決議にもとづき本会の事業を推進する。  
第13条 顧問は前会長・副会長の中から理事会において選出される。本研究会は顧問に、本会の事業推進についての助言・指導を仰ぐ。  
第14条 役員は任期は2年とし、総会の合意により選出される。但し、留任は妨げない。

### 総会

- 第15条 総会は、少なくとも2年に1回開催されるヒ素シンポジウム時に開催し、事業報告、事業計画、規約の改定等の重要事項を審議・決定する。

### 会計

- 第16条 本会の経費は、会費、寄付金、その他の収入によってまかなわれる。  
第17条 会長は収支決算書を作成し、監事による監査を受け、総会の承認を受けなければならない。  
第18条 本会の会計年度は、1月1日に始まり12月31日をもって終わりとする。

### 会費

- 第19条 会費は、個人年会費を3,000円とし、団体年会費を20,000円とする。

# かお

開見島工業高等学校校長に就任した

前田 滋さん



開見島大学工学部生体工学  
科教授から転身した。第一印  
象は「学生のおいさつがしっ  
かりしている」。大学の構内  
ですれ違ふ学生はたいがい知  
らぬぶりだっただけに、新鮮  
な驚きだった。「全寮制で職  
のつながりが生きている。学  
問だけでなく、人間教育の場

として機能していることを実  
感した。技術はもともと人  
間的にも社会で即戦力にな  
る人材が育つ環境です」  
専門は有機工業化学。石炭  
を高品位に変換させる研究や  
ヒ素など毒性重金属の毒性を  
除く研究に携わってきた。自  
らの研究や指導に取り組みか

たわり、一九九六年から日本  
と英研究会員を務めるなど多  
忙な生活だった。「いま完全  
週休二日になって戸惑ってい  
ます」と苦笑いする。  
開見島技術者が求められて  
いる時代。中堅技術者の養成  
を目的に設置された同校にも  
本年度から五年間の教育課程  
の上に三年間の専攻科が設置  
された。「専攻から大学に編  
入した学生は目的意識がしっ  
かりしており、優秀な人材が  
多かった。ひらめきを学問に  
つなげる力を養ってもらいた  
い」と期待は大きい。  
地域の中企業などを支援

## 地域の中小企業などを支援

する地域共同テクノセンター  
も開設され、九月には校内に  
専用研究棟が完成する。  
「地域への還元も国立学校  
の大変な機能。鹿大の地域共  
同研究センターと連携して効  
果的に運営したい」  
意味はテニス。校長室の窓  
の外にはコートが広がり、放  
課後にボールの音がしたすと  
そわそわ落ち着かない。井  
に二十人ほどの学生がいた研  
究室に比べ、校長室に出入り  
する学生は少ない。「できる  
だけ校内を歩いて学生とふれ  
あいたい。テニスの手合わせ  
ができれば最高ですね」。祖  
岡田出身、開見島市宇宿町に  
妻信代さん(五十二)と二男二女と  
住む。六十一歳。  
(国分支部・上原屋英佳)

## 編集後記

日本ヒ素研究会の機関誌「Arsenic Letter」の第5号をお届けいたします。今回は、大阪市立大学の圓藤先生にヒ素の許容濃度について、九州大学の井上先生に文学の中に現れるヒ素中毒としてボヴァリー夫人の死についてご執筆いただきました。また、私（大木）が石炭中のヒ素について書いています。本会会長の前田 滋教授が去る4月より鹿児島工業高等専門学校長として転出しましたので、その紹介記事を掲載しています。

日本ヒ素研究会名誉会員である K. J. Irgoric 教授（オーストリア Graz 大学）が1999年7月23日にご逝去されました。Irgoric 教授は、1996年1月より本会名誉会員を勤められ、ヒ素シンポジウム発表原稿の Applied Organometallic Chemistry 誌掲載への労などをとっていただきました。謹んで哀悼の意を表します。本会からご葬儀への献花をさせていただきました。

会員名簿の変更や誤りがありましたら、お知らせいただきましたら幸いです。ご意見、お問い合わせ等がございましたら、下記の日本ヒ素研究会事務局までお願いいたします。

最後に、本誌の編集や発送にあたり、光永弘幸君をはじめとする大木研究室の学生諸君に手伝っていただきました。ここに謝意を表します。

### 日本ヒ素研究会事務局

〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学工学部生体工学科大木研究室

Tel: 099-285-8335 (大木)

FAX: 099-285-8339

E-mail: ohki@apc.kagoshima-u.ac.jp