

## 微量元素よもやま話 [5]

## ヒ 素

京都大学名誉教授

高 橋 英 一

## ヒ素という元素

ヒ素はクラーク数0.0005% (49位) の微量元素ですが、その中でヒ素の名前ほど昔からよく知られていたものはないでしょう。

古代ギリシャ、ローマ時代、ヒ素化合物の毒性も、顔料などとしての用途も既に知られていました。ヒ素の化合物には黄～赤系の鮮やかな色を呈するものが多く、その硫化物である石黄 ( $As_2S_3$ , 雌黄ともいう) は、黄色の葉片状の塊で産する軟質の鉱物で、黄色の顔料に用いられました。石黄の英名はorpimentですが、これはラテン語のauripigmentum = auri [金色の] + pigmentum [絵の具] から転化したものです。

またヒ素の元素名のArsenic (As) は、やはり石黄を指すギリシャ語のarsenikonに由来しますが、これは「男らしい、生殖力ある、強い」などと言う意味のarsenikosから派生したものとされています (小学館ランダムハウス英和大辞典第2版)。これらの名前は、ヒ素化合物が顔料や強壮剤や毒薬に用いられたことを反映しています。

ヒ素は石黄 ( $As_2S_3$ )、鶏冠石 ( $As_4S_4$ , 雄黄ともいい、赤色～橙黄色で樹脂様の光沢がある)、

硫ヒ鉄鉱 ( $FeAsS$ ) などの硫化物として存在するほかに、銅鉱や鉛鉱、錫鉱、亜鉛鉱などに伴って産出します。そしてこれらの鉱石を精錬する際、加熱によって昇華し空気中で三酸化ヒ素 ( $As_2O_3$ ) に酸化され、冷えると凝縮して白色の粉 (ヒ華) になります。これはwhite arsenicとよばれ、長い間ヒ素そのものと混同されていましたが、1733年 A. Brandtはそれがヒ素の酸化物であることを示しました。単体のヒ素 (金属ヒ素) の発見者は明らかではありませんが、13世紀にドイツの錬金術師Albertus Magnus (1193-1280) が、石黄を石鹼と熱して金属様の物質を得たといわれています (Encyclopaedia Britannica II p434 1960)。

ヒ素の硫化物は難溶性ですが酸化物は水に溶け、無色、無味、無臭であるので、近世には殺鼠剤や秘毒 (気付かれぬようにひそかに服用させることができ、慢性病のように人の命を徐々に縮める毒薬) として用いられていました。その後、ヒ酸鉛やヒ酸石灰などが殺虫剤や除草剤に、また合成有機ヒ素化合物 (駆梅剤のSalvarsan=safe+arsenic や家畜家禽の駆虫用のアルサニル酸など) が医薬に用いられるようになりました。さらに最近では亜

## 本 号 の 内 容

§ 微量元素よもやま話 [5] ..... 1	ヒ素	京都大学名誉教授	高 橋 英 一
§ 水稻育苗箱全量基肥専用肥料「苗箱まかせ」による連続栽培 ..... 8		群馬県藤岡地区農業指導センター	高 橋 行 継
§ 千町無田 (大分県九重町) の黒ボク土水田開拓史に思う ..... 12		(独) 農業環境技術研究所 土壌環境研究領域長	小 野 信 一

ヒ酸を還元して6ナイン(99.9999%)の高純度のヒ素とし、半導体そのほかの電子機器材料(GaAsなど)に使われています。

形態によって異なるヒ素の毒性

微量元素を”低濃度で植物の生育に刺激的な影響を与える毒物”とみる風潮があった19世紀末から20世紀のはじめにかけて、植物の生育におよぼすヒ素の影響について試験が行われました。微量のヒ素が人体に毒性をもつことはよく知られていたからです。その結果ヒ素の毒性は存在形態(III価の亜ヒ酸とV価のヒ酸)で大きく異なることが分かりました。そのいくつかの例をつぎに紹介します<sup>1)</sup>。

表1-Aにみられるように、トウモロコシの生育は2ppm(0.002g/l)の亜ヒ酸(As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)で著しく阻害されるのに、ヒ酸(As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)の場合はその100倍以上の濃度でも阻害されていません。さらに培養液がリン酸を含まないときは、30-70ppmのAs<sub>2</sub>O<sub>5</sub>によって生育は大幅によくなっています。しかしこれは開花期までの効果で、それ以後は生育は減退して行きました。したがってヒ酸がリン酸の代替をするとはいえませんが、ヒ素(ヒ酸)を”刺激元素”とみなすことは可能かも知れません。

表1-Bは植物(オオムギ、ソバ、タデ)が枯死するまでの時間で毒性を比較した結果ですが、亜ヒ酸の場合は19ppmの濃度で2-4日で枯死す

表1. 植物に対する亜ヒ酸(As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)とヒ酸(As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)の毒性比較 Stoklasa 1898<sup>1)</sup>

A トウモロコシ		
完全培養液(対照)		6 5.8 4 <sup>g</sup>
" + 0.002g/l As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		2.8 4
" + 0.005 "		2.3 7
" + 0.01 As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		6 7.3 2
" + 0.40 "		6 4.1 3
リン酸を含まぬ培養液		1 2.9 3
" + 0.03 As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		3 9.9 8
" + 0.07 "		4 2.1 3

B オオムギ, ソバ, タデ		
枯死までの時間		
	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 19ppm	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 230ppm
ヤバネオオムギ	4 6時間	2 4.5日
ソバ	8 4	4 0
ハルタデ	9 0	4 2

るのに対し、ヒ酸ではその10倍以上の濃度で枯死するまでの日数も10倍かかるという、際だった毒性の違いを示しています。またイネ科のオオムギにくらべてタデ科のソバ、タデはヒ酸に強く、耐性に植物種間差異があることも示しています。

図1. オオムギの生育におよぼすヒ素の影響

(Rothamsted 1911)<sup>1)</sup>

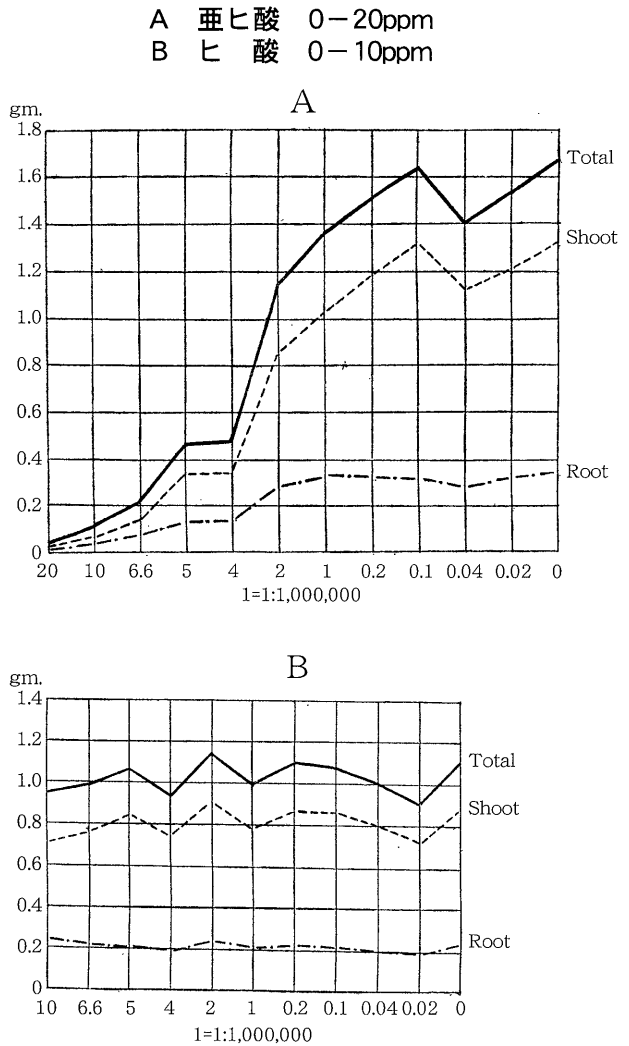


図1-A, Bはイギリスのローザムステッド試験場で行われた、オオムギについての試験の結果です。亜ヒ酸(図1-A)の場合、生育は0.1ppmから低下し始め、10ppm以上では殆ど生育不能になっています。ただし根の生育に影響が現れるのは1ppm以上の濃度で、地上部とかなり差があります。これに対してヒ酸(図1-B)では10ppmまで生育に特に影響はみられません。

これらの初期の研究は、三価のヒ素の酸化物(亜ヒ酸)の毒性は五価のヒ素の酸化物(ヒ酸)に比べて著しく強いこと、植物の種類によってヒ素耐性に差があること、またヒ酸はリン酸の不足を部分的に補うような挙動をすることなどを示しています。

ヒ素の毒性の一つにチオール(SH)基の関与する酵素作用の阻害がありますが、三価のヒ素はSH基と結合して安定なキレートを形成するのに対し、五価のヒ素はSH基に親和性をもたないで毒性が少ないと考えられます。

ヒ酸は動物では肝臓などで亜ヒ酸に還元されてはじめて毒性を示すといわれていますが、ヒ酸そのものがリン酸化反応で無機リン酸と競合し、酸化リン酸化反応の脱共役をする(ADPとADP-ヒ酸を形成するが不安定なため分解する)可能性もあります。(文献2の8-10頁)。

また投与したヒ素化合物の排泄を比較した実験では、有機態のヒ素で無害のアルサニル酸( $H_2NC_6H_4AsO_3H_2$ )は極めて速く、また毒性の弱いヒ酸もそれより遅いが完全に体外に排出されるのに対して、毒性の強い亜ヒ酸では51%しか排出されず体内にとどまる傾向がありました。このことから排出速度も毒性や耐性の違いに関係していることが分かります。

ヒ素耐性の植物種間差異については、後で触れるようにヒ素集積植物が知られており、その蓄積の仕組みはphytoremediationの観点からも関心がもたれています。

ヒ酸とリン酸の関連性については、かつて唱えられたケイ酸のリン酸一部代替説が想起されます。ケイ酸の場合はリン酸の生理作用そのものでなく、植物体内あるいは土壌中のリン酸の有効度を高めることによって、リン酸不足環境下で効果を現すことが明らかにされました。ヒ酸イオン $AsO_4^{3-}$ はリン酸イオン $PO_4^{3-}$ と性質が似ており、同じような行動をすることがありますが(ADP-ヒ酸の形成や土壌の固定サイトの共有など)、植物がリン酸に不足しているときヒ酸がどのような作用をするのかは明らかになっていません。

なおリン酸施肥がヒ素の害作用を助長する場合がありますが、それは土壌の固定サイトにリン酸

がヒ酸と競合することの他に、リン酸肥料中の不純物として含まれているヒ素が関係すると思われます。

### 水田稲作とヒ素被害

農業におけるヒ素被害はイネでよく知られています。一つは鉍害によるもの、今一つは果樹園を水田に転換した場合です。

前者の例としては、宮崎県土呂久鉍山や島根県津和野の笹ヶ谷鉍山周辺の水田で発生したイネのヒ素被害があります。両鉍山とも慶長年間に開鉍され、長らくの間スズや銅の採掘精錬とともに亜ヒ酸の採取が行われてきました。とくに笹ヶ谷鉍山の亜ヒ酸は、江戸時代「岩見銀山ネズミ取り」の名で売られていました。いずれも昭和40年代に閉鉍になりましたが、精錬を行った窯周辺に堆積された大量の鉍滓中のヒ素が、長年の間に下流の水田を汚染し、しばしば水稻に大きな被害を与えてきました<sup>3)</sup>。

水田は地形的に、野積みされた高濃度のヒ素を含む鉍滓が流入集積しやすいだけでなく、湛水することによって毒性の強い亜ヒ酸に還元されるため、ヒ素の害を受けやすい環境になります。果樹園もかつて農薬としてヒ酸石灰やヒ酸鉛が多用されていましたが、これを水田に転換すると集積していたヒ酸が亜ヒ酸に還元されて、水稻に害をもたらすようになります。

表2は笹ヶ谷鉍山周辺水田土壌のヒ素濃度ですが、対照水田に比べて全ヒ素、1N-HCl可溶性ヒ素とも7倍の高さになっています。この地域のヒ素汚染水田では、苗を植え付けて活着すると灌

表2. 笹ヶ谷鉍山周辺水田土壌のヒ素含量

(山根忠昭 1979)<sup>4)</sup>

対象水田	層位*	総ヒ素	可溶性ヒ素**
鉍山下流域水田	表層	36.7 ppm (7.6~137.9)	23.3 ppm (2.8~101.6)
	次層	85.5 (24.0~358.4)	10.1 (0.9~36.5)
対照地水田	表層	5.0 ppm (4.6~5.4)	3.2 ppm (2.5~3.9)
	次層	10.4 (6.4~14.4)	4.6 (3.0~6.1)

\* 表層 0~15cm 次層 15~30cm

\*\* 1N HCl 可溶性

漑を中止し、作土に割れ目が入るまで乾かし、その後はときどき田面を潤す程度の灌水をして稲作を行うのが慣行になっていました。このような節水栽培では多収は望めませんが、湛水栽培に比べるとヒ素の被害ははるかに少なくてすみませんでした<sup>4)</sup>。

図2. 土壌中のヒ素濃度、水管理と収量

(山根忠昭 1979)<sup>4)</sup>

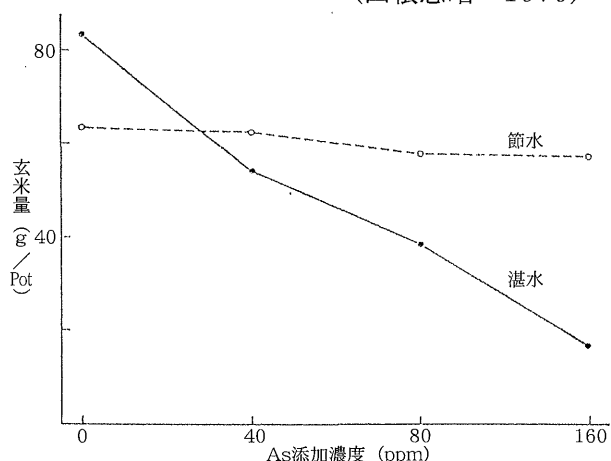


図2は現地(津和野)の非汚染土壌に、ヒ酸ナトリウムでAsとして0, 40, 80, 160ppm(乾土当たり)になるように加え、湛水と節水(落水)の2系列で比較したポット試験の結果です。節水系列は初期に湛水して苗を植え付け、活着後ポットの排水孔の栓を抜き、干ばつにならないように深さ5cmの水中に浸して下方から水分を供給、真夏に土の表面が白く乾くときは上からも軽く灌水したものです<sup>4)</sup>。

湛水系列はヒ素濃度の上昇に伴い、6月下旬頃から快晴の日には水稻の葉が巻いて萎れはじめ、次第に生育は不良となり収量も激減しました。これに対して節水系列では、ヒ素無添加の生育は湛水より劣り収量も20%ほど減収しましたが、ヒ素濃度が上昇しても障害は現れず、ほとんど減収しませんでした。

また土壌の酸化還元電位(Eh)を測定したところ、湛水系列ではEhが下降して還元状態が発達し、8月下旬には-200mV前後であったのに対して、節水系列では初期苗が活着するまで湛水したのでEhは低かったが、落水後は次第に上昇し、同じ8月下旬には400mV以上を示し、酸化状態で経過していました。

ヒ素汚染地で畑作物を栽培する場合、生育障害は比較的軽微ですが、湛水して水稻を栽培するとしばしば激しい生育障害が発生します。しかし水管理や高畦などによって作土を酸化的に保てば、障害は大幅に軽減します。したがって水稻のヒ素障害は、作物間のヒ素耐性の差異よりも栽培環境、とりわけ湛水条件に問題があることがわかります。このことからわが国の作物のヒ素障害は、主として水稻に特有な問題ということができます。

#### 生物によるヒ素耐性の違い

昔(1973年)笹ヶ谷鉱山の精錬跡地周辺の植生調査を行ったことがあります。1%前後のヒ素が残っている鉱滓が堆積されていた辺りの植生は非常に貧弱で、ヘビノネゴザと地衣類くらいしか見られなかったのが印象的でした。ヘビノネゴザは鉱山シダ(あるいは金気草)ともよばれ、銅、鉛、亜鉛、カドミウムなどの重金属の他に、ヒ素も集積することが明らかにされています。

表3. 生野鉱山跡地土壌に生育させたヘビノネゴザのヒ素濃度mg/kg(ppm)(岩崎貢三 2006)<sup>5)</sup>

根	若い葉	成熟葉	古葉
2175±97	168±5	245±20	242±25

表3は兵庫県の生野鉱山跡地で採取したヘビノネゴザを跡地土壌(全ヒ素濃度651ppm)を用いてポット栽培した結果ですが、一般の陸生植物の数百倍のヒ素濃度になっています<sup>5)</sup>。因みに笹ヶ谷鉱山下流域のヒ素汚染水田の水稻茎葉のヒ素濃度は、健全なものが3ppmであったのに対して、障害甚が72ppm, 中が22ppm, 軽が19ppmでした<sup>6)</sup>。ヘビノネゴザが高濃度のヒ素を集積しても何故生育が可能なのか、その耐性の仕組み(体内での存在形態, 存在場所など)の解明が待たれます。

陸生植物の多くが1ppm以下のヒ素濃度(対乾物)であるのに対して、海藻類(とくに褐藻類)のヒ素濃度は数十ppmオーダーと高いことが知られています(表4)。海水のヒ素濃度は0.003ppmと非常に低いのに、海藻はどのようにして海水からヒ素を1万倍以上も吸収濃縮しているのか不思議です。ただ海藻中のヒ素の形態は主に有機態のアルセノシュガーで、毒性は極めて低いことが明らかになっています。

表4. 各種海藻中の総ヒ素含量  
(神和夫・多賀光彦 1984)

		全ヒ素 $\mu\text{g/g}$ (ppm)
緑藻類	6種	9.7 (2.8~23.0)
褐藻類	19種	70.2 (12.9~320)
紅藻類	31種	12.1 (4.5~28.5)

文献2)の92-94頁のデータより筆者がとりまとめた。

また海産の魚(マガレイ, マアジ, マイワシ)やエビ(タイショウエビ), タコ(ミズダコ)の筋肉に, 数十ppmのヒ素が有機態のアルセノベタインの形で検出されています(表5)。これらの海産動物は無機態のヒ素を有機化する能力は小さいので, この結果は海水中の無機態ヒ素が海藻やプランクトン類によって有機化され, プランクトンあるいは海藻食性動物から肉食性動物へという食物連鎖を反映したものと考えられます。

表5. 海産動物中のヒ素含量\*  
(Shinagawaら 1983)\*\*

		総ヒ素	内 有機態 ***
魚 類	マガレイ	36.0	34.2
	マアジ	25.6	24.0
	マイワシ	17.3	15.0
原索動物	マボヤ	25.0	24.3
節足動物	タイショウエビ	41.3	39.2
軟体動物	サザエ	15.0	14.1
	アサリ	17.5	15.9
	ミズダコ	49.0	48.8
	スルメイカ	17.2	16.1
	マナマコ	12.4	11.3

\*  $\mu\text{g/g}$  (ppm)対乾物 供試部位は筋肉

\*\* 文献2)の47頁より

\*\*\* ほとんどがアルセノベタイン

海産動物は取り入れた有機態ヒ素を, 最終的にアルセノベタインに換えて保持しています。われわれ日本人は海産物を多量に摂取している中で, その中に含まれているヒ素の健康に対する影響が気になりますが, 動物実験によるとアルセノベタインの毒性はショ糖以下といえるほど小さいので, 心配はないようです。

ところで19世紀の末にイタリアのGosioという人が, ある種のカビ(*Mucor mucedo*, *Aspergillus*

*glaucum*, *Penicillium glaucum*, *Penicillium brevicaulis*など)はヒ素化合物上で生育することを発見しました<sup>7)</sup>。彼によるとこれらのカビはヒ素の硫化物には作用しないが, 亜ヒ酸銅などのヒ素の酸化物を還元してガス状のヒ素にします。実際ヒ素を含んだ土に培養するとヒ化水素が発生します。

ヒ素化合物の上で盛んに生育しているこのカビと一緒に容器に入れられたネズミは, 数秒で死ぬくらいその作用は強力でした。しかし死んだカビにはこのような作用はないので, ヒ素ガスが発生する反応にカビの活性が関係していることが分かります。これらのカビはヒ素を食べて生きているのだとGosioは述べています。ヒ素化合物は防黴剤として用いられますが, ヒ素耐性をもった”ヒ素資化性カビ (arsenical fungi)”には効果がなればかりか, その生長を助け, 有害性を発揮させる危険性があります。

19世紀にはシエーレ緑 (Scheele's green 酸性亜ヒ酸銅; 絵の具用, 1819年, K.W.Scheeleの名に因む) など, ヒ素を含んだ顔料で描かれた壁紙が用いられるようになりました。ところがそれに伴って, 顔料から揮発性のヒ素化合物が生成し, かなりの人々が中毒にかかり, 時には死亡する事故が起こりました。ナポレオンもその一人ではなかったかと言う説があります。

1962年ナポレオン毒殺説 (Forshufud, S. "Who Killed Napoleon?") が紙誌上を賑わしました。ナポレオンの, おそらく死の直後にとられた二本の毛髪の放射化分析をしたところ10および3~4 ppmのヒ素が検出され, ナポレオンはセント・ヘレナの最後の日々にヒ素中毒にかかっていたと結論されました。そこでナポレオンはヒ素で毒殺されたのではないかという疑惑が起こり, 犯人探しが始まりました。

しかし1982年になって, この毒殺説を否定する論文<sup>8)</sup>がイギリスの二人の研究者によって発表されました。ナポレオンが死んだ部屋のバラの花模様を描いた壁紙の一部が保存されていましたが, 彼らはこれを蛍光X線法で分析したところ, ヒ素中毒の症状は十分に起こすが, そのために死ぬとは考えられない程度のヒ素を検出しました。

壁紙はナポレオンの死の2年前の1819年に張り替えられたものですが、ナポレオンの住んでいたセント・ヘレナのロングウッドハウスは湿気がひどく、壁紙にカビが生える可能性は十分にあり、意図的な暗殺を仮定しなくても、カビによって気化したヒ素による中毒症と説明できるとこの論文は述べています。

### 生と死の妙薬としてのヒ素

ヒ素ほど話題性に富んだ、ある意味で通俗的な微量元素はないと思います。ヒ素は昔から強壯剤として、また秘毒として使われてきたからです。

東洋ではヒ素は丹薬(不老不死と称する練り薬)の成分として使われました。中国の神農本草経(5世紀中頃、梁の陶弘景著)に「雄黄(As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)は食して軽身、神仙、また雌黄(As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)は久しく服用して軽身、増年、不老の効あり」と記されているそうです<sup>9)</sup>。

ヨーロッパでは18世紀に、フアウラー液という水薬が登場しました。イギリスの薬剤師トマス・フアウラー(1736-1801)は、当時市場に出回っていた”瘧(主にマラリアの一種の三日熱を指す)および熱病の特許薬”の成分を分析し、それがヒ素溶液であることを発見しました。彼はその処方方を工夫し、1768年に「瘧、間歇熱、および周期性頭痛の治療におけるヒ素の薬効に関する医学報告」という論文に紹介しました。

これがフアウラー液(ヒ酸カリウムの水溶液)と呼ばれるものですが、これによってヒ素は治療薬としての地位を認められるようになりました[文献<sup>10)</sup>の202頁による]。そして19世紀になってより安全な合成有機ヒ素化合物が登場するまで、無機ヒ素製剤は貧血、神経疾患、リュウマチ、マラリアなどの治療に処方されていました。

またオーストリアのチロルやステイリアのアルプス地方では、天然産のヒ素の結晶を摂取する習慣が近年まであったということです。これは高度馴化に役立ち、血色がよくなり、食欲が増進し、元気がでると「習慣的ヒ素摂取者」に信じられていました。これらの特異な性向の人、いわゆるヒ素嗜好食症(Arsenophagia)の人はヒ素の摂取を中止すると、不快感、虚脱などの症状を呈することがあるそうです[文献<sup>2)</sup>の3頁による]。

もう一つの秘毒としてのヒ素の利用は、16世紀に亜ヒ酸の水溶液が無色、無味、無臭の毒薬として世に出るや、17~18世紀にかけてイタリアやフランスで大いに流行しました。ボルジア家の毒薬は有名ですが、それと並んでトフアーナ水があります。

17世紀のイタリアにトフアーナ(Toffana)と言う女がいました。彼女は「バーリの聖ニコラスのマナ(Manna von St. Nicolaus von Bari)」という銘をつけた水薬を、その聖者の絵を装飾した小さなガラスの薬瓶に入れて売り出しました(彼女の名に因んでトフアーナ水と呼ばれました)。

この水薬はヒ素を含んだ無色無味の液で、表向きは化粧品として売り、その毒物としての使い方は、販売の際にこっそりと教えました。人妻たちはこの”化粧品”を求め、好ましくない夫を何の苦もなく殺してしまうことができました。この一見無害な製剤が貴婦人の化粧台にあっても、長い間何の嫌疑も受けませんでした。結局トフアーナは捕らえられて処刑されましたが、それまでに六百人以上もの犠牲者がいたと言われています。[文献<sup>10)</sup>の143頁による]

毒薬としてのヒ素は文学作品にも登場します。たとえば有名なフロベールの長編小説「ボバリー夫人」(1857年刊)の最後の章には、主人公のエンマ・ボバリーがヒ素を飲んで自殺するに至る症状が詳しく描写されています。推理小説には殺人がつきものですが、その手段にヒ素はよく使われました。また演劇では、アメリカのJoseph Kesselring作の"Arseenic and Old Lace"(1941年、邦題「毒薬と老嬢」)がありますが、それは映画化され(1942年)、後に日本でも上映されました。

さらにヒ素が原因の社会的な大事件が、戦後の日本で起こっています。もっとも有名なのは森永ヒ素ミルク事件です。これは1955年6月下旬から7月上旬にかけて西日本に発生した、森永の調製粉乳による乳幼児の大規模な中毒事件で、調製剤として使われた工業用の第二リン酸ソーダ中に含まれていたヒ酸塩が原因でした。

また同年末には醤油によるヒ素中毒が宇部市近郊で発生しています。この醤油は酸、アルカリを用いる直接分解法でつくられたアミノ酸を使用し

ており、その酸、アルカリが工業用で、不純物としてヒ素を含んでいたためでした [文献<sup>2)</sup>の1頁]。酸アルカリに粗製品を使わなければ起こらなかったと思われるこれらの事件には、硫酸やリン酸に随伴しやすいヒ素の性質が関係していたといえます。

このようにヒ素という微量元素は、生と死の妙薬として世間に馴染み深い存在でした。

#### 付記 人間の生産活動とヒ素汚染

土呂久鉍毒被害者の支援運動に参加、その後アジア砒素ネットワークを立ち上げた川原一之氏の近著 [文献<sup>11)</sup>] の終わり近くに、つぎのようなくだりがある。

「アジアのヒ素汚染の状況が分かるにつれて、土呂久の位置がはっきりとみえてきた。ヒ素を含んだマグマは、地表付近で冷えてかたまって、さまざまな鉍石を含む鉍脈となる。土呂久のヒ素汚染は、鉍脈からヒ素の鉍石を掘り出して、それを焼いて猛毒の亜ヒ酸を製造したことが原因だった。ヒ素汚染の原初の形といってよいだろう。大河の流域にみられるヒ素汚染は、風化して運ばれて地下に眠っていたヒ素が、チューブウエル(掘り抜き井戸)でくみあげられておきた。鉍山周辺の汚染に比べると、二次的な汚染といえる。大河の流域の方が圧倒的に規模は大きい。土呂久は、規模は小さくても、その被害ははるかに激しかった。土呂久からネットワークがつくられていったのは、自然な形のように思われる。」

わが国ではかつて鉍工業がからんだヒ素の健康被害はあったが、アジアの開発途上国では農業がからんだヒ素汚染が深刻である。これらの国では1960年代後半から「緑の革命」が始まった。その一つに乾季における高収量品種のイネの栽培がある。それには大量の水が必要であるが、その水を地下水に頼ったため水位の低下を招いた。これが地層の中のヒ素が地下水に溶け出す原因となり、ヒ素を含んだ井戸水を飲料水にしている地域住民

に、慢性的ヒ素中毒をもたらす結果になった。

ヒ素は太古の昔から静かに地下に眠っていた。それを鉍工業さらには過度の農業生産が、このヒ素を目覚ませ環境を汚染し、健康被害をもたらすことになったのである。今日の環境問題には、人口の増加と生産活動の昂進、すなわち人類の繁栄の結果が宿命的にかかわっている。

#### 参 考 文 献

- 1) Winifred E. Brenchley : Inorganic Plant Poisons and Stimulants 51-64 Cambridge At The University Press (1927)
- 2) 石西伸ほか監修：ヒ素－化学・代謝・毒性、恒星社厚生閣 (1985)
- 3) 環境庁土壤農薬課編：土壤汚染 52-53, 203-212頁 白亜書房 (1973)
- 4) 山根忠昭：島根県におけるヒ素汚染の実態と対策 土壤汚染の機構と解析 38-71頁 産業図書 (1979)
- 5) 岩崎貢三：重金属汚染土壤の修復を目的とした植物根圏機能の高度利用 97頁 平成15-17年度 科学研究費補助金研究成果報告書 (2006)
- 6) 山根忠昭著：水稻におけるヒ素被害の発生機構と対策 島根農試研報 24 : 1-95 (1989)
- 7) B. Gosio : Zur Frage, wodurch die Giftigkeit arsenhaltiger Tapeten bedingt wird, Berichte Deut. Chem. Ges. 30 1024-1026 (1897)
- 8) David E. H. Jones, Kenneth W. D. Ledingham : Arsenic in Napoleon's wallpaper, Nature vol. 299 626-627 (1982)
- 9) 山根登著：微量元素 123頁 産業図書 (1977)
- 10) チャールズ・ラウオール著：世界薬学史 科学書院 (1981)
- 11) 川原一之著：アジアに共に歩む人がいる－ヒ素汚染にいどむ 岩波ジュニア新書 (2005)