

ヒ素を含む化学剤の処理並びに分解技術

貝瀬利一,* 木下健司

Chemical Treatment and Decomposition Technique of the Chemical Warfare Agents Containing Arsenicals

Toshikazu KAISE* and Kenji KINOSHITA

Laboratory of Environmental Chemodynamics, School of Life Sciences, Tokyo University of Pharmacy & Life Sciences, 1432-1 Horinouchi, Hachioji, Tokyo 192-0392, Japan

(Received August 15, 2008)

The old Japanese army developed several chemical warfare agents on Ohkuno Island in Seto inland sea, Hiroshima Japan, during the period between 1919 and 1944. These chemical agents including yperite (mustard; irritating agent), lewisite (irritating agent), diphenylchloroarsine (DA; vomiting agent), diphenylcyanoarsine (DC; vomiting agent) and other poisonous gases were manufactured to be used in China. After World War II, the old Japanese army abandoned or dumped these agents into seas inside or outside of Japan and interior of China. Rather than being used for terrorism, these chemical warfare agents containing arsenicals may cause injury to some workers at the digging site of abandoned chemical weapons. Moreover, the leakage of chemical agents or an explosion of the bomb may result in environmental pollution, as a result, it is highly possible to cause serious health damage to the residents. There are still many abandoned or dumped warfare agents in Japan and China, therefore chemical agents containing arsenic are needed to be treated with alkaline for decomposition or to decompose with oxidizing agent. Presently, a large quantity of chemical agents and the contaminated soil are processed by combustion, and industrial waste is treated with sulfur compounds as the insoluble sulfur arsenic complex. This report describes the methods for the disposal of these organic arsenic agents that have been implemented until present and examines the future prospects.

Key words—chemical warfare agent; lewisite; arsenic; diphenylchloroarsine; diphenylcyanoarsine

1. はじめに

わが国では不幸なことにこれまで化学剤が製造された経緯がある。それは戦争用化学剤とテロ用化学剤であり、どちらも殺傷を目的として製造されたものである。第二次世界大戦中、旧日本軍は主に中国で使用する目的で化学剤を製造したが、終戦と同時に未使用の化学弾の多くは証拠隠滅のため中国並びに日本の各地に遺棄された。これらの砲弾の一部は国内の湖底や海底に投棄され、また地中にも遺棄された。現在、福岡県荇田港の海底から引き上げられた化学弾は日本政府により遺棄化学兵器処理として行われている。またこれまで神奈川県寒川町（2002年9月）や平塚市（2003年4月）の工事現場から

もガラス瓶やビール瓶に入った化学剤が発見されたが、この場所は旧日本軍相模工廠の跡地でもあった。さらに中国各地でも旧日本軍によって遺棄された化学兵器は約70万発であるとも言われ、現在でも日本政府による遺棄化学兵器の処理が継続的に行われている。

一方、1994年には松本サリン事件が、また1995年には地下鉄サリン事件が発生し、オウム真理教により不特定多数の人々を殺傷する目的で化学剤が製造された。その主たる化学剤は神経ガスであるサリン並びにVXガスであった。¹⁾ 今後はわが国も新たな神経剤を含む化学剤や生物毒素を使用したテロに曝される危険性があり、化学及び生物テロに対する防備の弱いわが国としては化学剤や生物兵器などに対するテロ対策は非常に重要である。特に周辺で警戒する警察官や救助活動を担う消防隊など第一線で活躍する人材の育成も特に重要となろう。

最近の化学テロに用いられたサリンやVXなどの

東京薬科大学生命科学部（〒192-0392 東京都八王子市堀之内1432-1）

*e-mail: kaise@toyaku.ac.jp

本総説は、日本薬学会第128年会シンポジウムS10で発表したものを中心に記述したものである。

化学剤は極微量で即効性を有し、かつ強い致死性を持つ化学物質であることが注目すべき点である。それに対して戦争用に製造されたマスタード (Mustard 別名; イペリット, Yperite) やルイサイト (Lewisite) などの化学剤はもはやテロで用いられる可能性は極めて低いと考えられる。しかし、これらの残存砲弾の処理は物理的、化学的、経済的に多くの困難を要する。多量のマスタードやルイサイトを製造した米国では大規模な処理施設を建設して積極的に処理を行っている。しかし中国並びに日本では戦後、遺棄された砲弾はいまだに放置されている箇所も多く、60年を経た現在では容器の劣化とともに内容物の漏出や掘削現場での破裂による被爆の可能性があり、健康障害や環境汚染などを引き起こす恐れもある。今後もわが国の負の遺産は重く引きずることになる。これらの化学兵器について詳しく書かれた解説もいくつかあるので参照されたい。^{1,2)} 本稿では特に健康影響や環境汚染を引き起こす可能性のあるヒ素含有化学剤の検出法や処理法について解説してみたい。

2. ヒ素を含む化学剤の製造

ヒ素を含有する主な化学剤としてルイサイト (Lewisite, L; 2-chlorovinylchloroarsine), ジフェニルクロロアルシン (DA; diphenylchloroarsine), ジフェニルシアノアルシン (DC; diphenylcyanoarsine), アダムサイト (Adamsite, DM; diphenylaminochloroarsine) などが挙げられる。これらヒ素を含有する代表的な化学剤の構造式を Fig. 1 に示した。

ルイサイトが初めて合成されたのは 1904 年であり、その後ルイス大尉 (W. Lewis) が戦争用化学剤としての有用性を見い出して 1918 年に製造し、その名にちなんでルイサイトと命名された。ルイサイトはゼラニウムやニンニク様の独特の臭いを持つ油状の液体で、ウサギでは致死量 5 mg/kg とされている。ヒトでは 1.2 ml が皮膚に付着すれば死に至ると言われ、別名「死の露」とも称されている極めて毒性の高いびらん性 (粘膜に水泡を引き起こす) 有機ヒ素化合物である。第二次世界大戦中、旧日本軍は中国で使用するため 1920 年代から 1930 年代を通じてこれらの化合物の生産を増強していった。化学剤の製造場所としては瀬戸内海に浮かぶ広島県大久野島の忠海兵器製造所が代表的な例として挙げられるが、1942 年には海軍が神奈川県平塚市

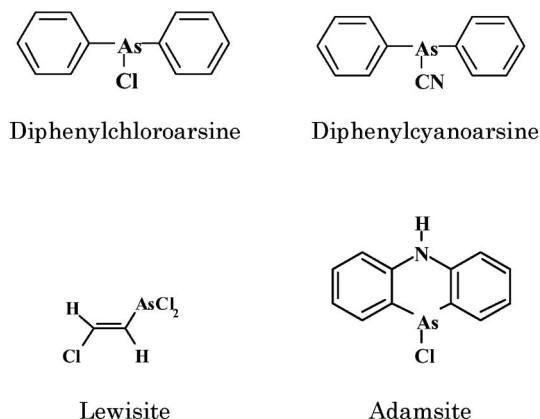


Fig. 1. Chemical Structure of Arsenic Containing Chemical Warfare Agents

一帯に相模海軍工廠を建設した。またその他数カ所に化学兵器製造所が建設された。³⁾

ルイサイトの製造原料は三塩化ヒ素で、カーバイドに水を注いで発生するアセチレンガスを三塩化アルミニウムの触媒下で吹き込んで製造する。その製造過程で油状の重たい液体として Fig. 2 に示すような 3 種類のルイサイト置換体が得られる。いずれのルイサイト置換体も比重の高い高沸点化合物で、不純物を含むためやや黄色を帯びている。

旧日本軍はルイサイトと同様にびらん性を持つマスタード [(ClCH₂CH₂)₂S] を混合物 (きい剤) として用いることが多かった。これは中国東北部で使用の際、冬の氷点下でマスタード (mp. 13–14°) が凝結し、散布が不可能になることからさらに融点の低いルイサイト (mp. –13°) を混合してその凝結を防ぐためと考えられる。加えてびらん性効果をより一層高めるためとも言われている。⁴⁾

第一次世界大戦の後半、アンモニア合成で有名なドイツのフリッツ・ハーバーはカイザー・ウィルヘルム研究所でびらん性ヒ素化合物の開発の指揮をしていた。彼はルイサイトのほかにびらん性を有するヒ素含有化合物としてメチルジクロロアルシン (MD), エチルジクロロアルシン (ED), フェニル



貝瀬利一

昭和 47 年東京薬科大学薬学部卒業。神奈川県衛生研究所主任研究員を経て、平成 6 年東京薬科大学生命科学部助教授。現在環境動態化学研究室教授。(薬学博士)。研究分野はヒ素に関する生体影響と環境動態。趣味はパイプオルガンを弾くこと。

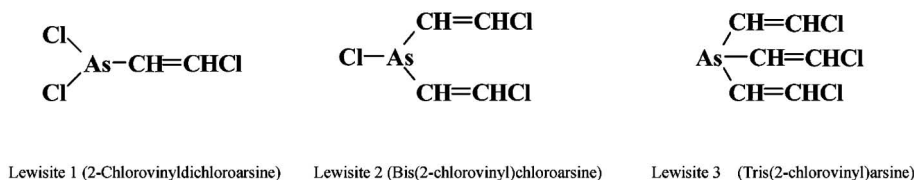


Fig. 2. The Structure of Lewisite

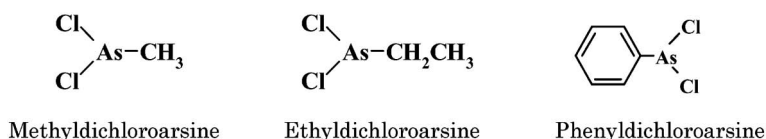


Fig. 3. Irritating Arsenic Containing Chemical Warfare Agents

ジクロロアルシン (PD) などを開発した。いずれもルイサイトと同様、分子内にヒ素結合塩素原子を持つのが特徴である。Fig. 3 にびらん性を持つその他のヒ素含有化合物の構造式を示した。

ヒ素含有化学剤の中には、びらん性のほかに嘔吐作用やくしゃみを引き起こす作用のある化合物が見い出されており、Fig. 1 に示したようなジフェニルクロロアルシン、ジフェニルシアノアルシンなどが製造された。さらに催涙性を合わせ持つ化合物としてアダムサイトも開発されたが、わが国ではアダムサイトは製造されていない。旧日本軍においてジフェニルクロロアルシン及びジフェニルシアノアルシンの製造は、旧海軍側ではフェニルアルシンオキシド (PAO) を中間原料として、また旧陸軍側ではジフェニルアルシン酸 (DPAA) を中間原料としてそれぞれ製造された。またドイツではくしゃみ剤の使用に際し、ジフェニルクロロアルシンとジフェニルシアノアルシンを混合したものがより効果的な嘔吐作用を持つことを確認している。⁴⁾ 旧日本軍ではジフェニルクロロアルシンとジフェニルシアノアルシンの混合物(あか剤)を充填した砲弾をあか弾、有毒発煙筒をあか筒と称して製造していた。⁵⁾ またフランスでは固体のジフェニルクロロアルシンを液体のフェニルジクロロアルシンと4:6で混合した液状混合毒ガスを噴霧しやすいように製造した。⁴⁾ これは液状微粒子が防毒マスクを通過する特徴を有し、兵士に苦しむのために防毒マスクを外させて、さらなる直接効果をねらったためである。

第二次世界大戦終戦時には主な製造所である大久

野島にはルイサイト 824 t、くしゃみ剤 (ジフェニルクロロアルシン、ジフェニルシアノアルシン) 958 t、マスタード 1451 t が貯蔵されていたという。

3. ヒ素を含有する化学剤の生体影響

ルイサイトはマスタードと同様、皮膚に付着するとその周辺部に疼痛を伴った赤色又は暗黒色病変を生ずる。病変は最初、発疹から始まり水泡を伴うびらんへと進行して、ケロイドが形成され患部の深部にまで到達する。また皮膚等から吸収されたルイサイトは血液を介して全身を巡り、消化管に対して中毒症状を呈し、激しい腸の収縮を起こして嘔吐や下痢を惹起する。また目に入ると激しい灼熱感を催して充血を来たし、その後、粘膜にびらんを生じて激しい疼痛を起こし失明に至ると言われている。また呼吸器から侵入した場合は鼻の粘膜、副鼻腔、気道、肺胞に至るまでびらんを形成し、呼吸困難を引き起こして最悪の場合は死の転帰を取る。ルイサイトの毒性の一因はこれら粘膜組織の水とヒ素結合塩素が反応して加水分解を起こし、生成した塩酸がびらんを引き起こすものと考えられる。特にルイサイト 1 はこの作用が最も強く、極めて毒性の高い化合物である。ルイサイト 1 は加水分解を起こして中間体である CVAA (2-chlorovinylarsenous acid) を生成するが、CVAA も依然高い毒性を持っている化合物であるため、粘膜から深部に浸透してさらに内部で炎症を重傷化させる。ある文献では少量のルイサイトが皮膚に着くと 12 秒以内に痛みが走り、外傷のような化学火傷が 5-15 分後に始まり、最初の小さな発疹から数時間たつとマスタードに似た水泡

を持つと記述されている。⁶⁾ いずれの暴露も化学的障害を来たして兵士の戦闘行動を抑え、また多量に被爆した場合は死に至る化合物である。またルイサイトは DNA に対して直接アルキル化剤としても作用するため、数十年後にはがんや白血病を誘発すると考えられる。

一方、ジフェニルクロロアルシンやジフェニルシアノアルシンなどの嘔吐剤によって被爆した場合は、目、鼻や喉が強力に刺激され疼痛をもたらし、さらに肺が強く刺激されて苦悶状態に陥り、やがて数分で腸の収縮を起こして嘔吐を誘発する。また呼吸器の粘膜は刺激を受け、くしゃみを続発して戦闘能力の低下をもたらす。松村による「731 部隊」の実験報告書でも旧日本軍が中国で行った人体実験結果に同様の記載が残されている。^{6,7)}

筆者もジフェニルクロロアルシンを恐る恐る鼻で嗅いでみた経験を持つ 1 人である。この物質は室温では結晶全体が少し湿潤しているようで、淡い褐色味を帯びている化合物であった。ジフェニルクロロアルシンに対して特に匂いは感ぜず、揮発性の低い化合物であろうと推定していた。しかし吸入から 5 分を過ぎた頃に鼻の粘膜がチリチリと痛みを感じ、その作用かと思いつつそのまま放置したところ 20 分後に頭を殴打されたような衝撃を受けた。しかし、この現象は何かの偶然であろうと思ひ、翌日再度試みた。研究者は懐疑心の強いものであることが実感された。その結果、全く同様の症状が起こったため、ジフェニルクロロアルシンの作用であろうと確信した。

4. ヒ素を含有する化学剤による環境汚染とその検出法

ルイサイトはマスタードと同様に塩素を遊離する可能性を持つため、金属製の砲弾に充填して数十年経過すると、微量の水分による加水分解が起き、生じた塩酸が金属を腐食して内容物が漏出する恐れが出てくる。第二次世界大戦後 60 年を経た現在、そのような状況にある遺棄化学兵器は多数に上るものと思われ、環境汚染や健康被害の恐れがたぶんにより早急な対応が望まれる。

ルイサイト 1 は Fig. 4 に示すように生体組織や環境中で加水分解を起こして、CVAA (2-chlorovinylarsenous acid) を生ずるが、この分解物は依然びらん性を有しているためその取り扱いには注意

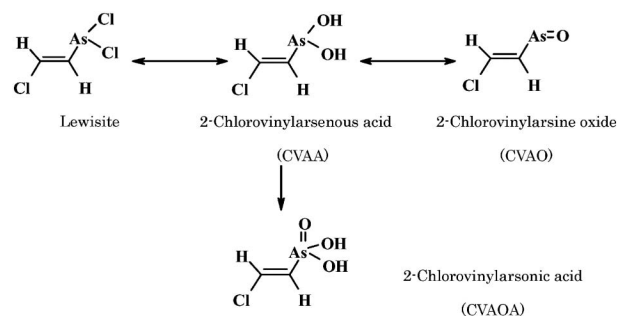


Fig. 4. The Putative Degradation Pathway of Lewisite

を払わなければならない。

CVAA はさらに加水分解を受けて、CVAOA (2-chlorovinylarsonic acid) に変換する。さらに CVAA は分子内脱水を起こし、水に不溶性の CVAO (2-chlorovinylarsine oxide) を生成する。これまで環境試料などからルイサイトを検出する場合、チオグリコール酸メチルエステル (SHCH₂COOCH₃) やプロパンチオール (CH₃CH₂CH₂SH) を用いて誘導体化し、GC-MS (ガスクロマトグラフ-質量分析計) により分解物を含めた総ルイサイト量として測定している。⁸⁻¹⁰⁾ しかしチオール化合物は特有な悪臭を持ち、その取扱いは非常に不便であること、さらに GC 分析時に注入口やカラム内において熱分解や脱吸着反応が起きることなど分析精度に問題が残っていた。筆者らはこれらの問題点を打開するため、ルイサイト 1 の分解生成物の検出法を高速液体クロマトグラフ-誘導プラズマ質量分析計 (HPLC/ICP-MS) を用いて試みた。¹¹⁾ そのクロマトグラムを Fig. 5 に示す。

このクロマトグラムではのちに解説する嘔吐剤製造時の中間原料である PAO の酸化成績体である PAA (phenylarsonic acid) 並びに DPAA (diphenylarsinic acid) も同時に検出できた。筆者らはこの方法を環境試料やマウス尿に応用した。CVAA を低濃度でマウスに投与すると尿中代謝物として CVAOA が検出されたことから生体内で酸化が起き、ルイサイト 1 の酸化体は脱アルキル化されずに尿中に排泄されることが明らかとなった。¹¹⁾

2003 年、茨城県神栖市では嘔吐剤の中間原料であるヒ素化合物による地下水汚染が起きた。その結果、地下水から高濃度のジフェニルアルシン酸 (DPAA) が検出され、それを井戸水として利用し

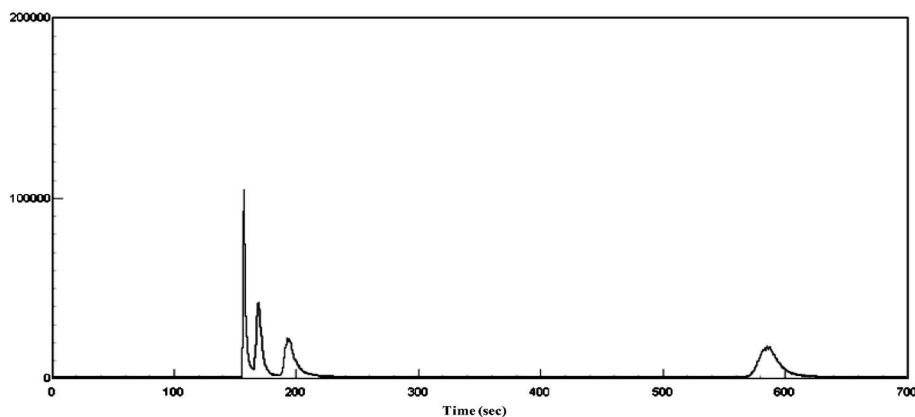


Fig. 5. HPLC/ICP-MS chromatogram of CVAOA, PAA, CVAA and DPAA

Each peak indicates CVAOA, PAA, CVAA and DPAA. The analytical conditions of HPLC were as follows: mobile phase- 0.1% HCOOH/CH₃CN=80/20, flow rate- 0.2 ml/min, temperature- 40°C, and injection volume- 20 μ l.

ていた住民の間に集団的な健康被害が生じた。^{12,13)}当初 DPAA はジフェニルクロロアルシンやジフェニルシアノアルシンの分解物と考えられていたが、最近ではむしろ化学剤の中間原料であった DPAA の余剰物が不法に投棄されて土壌汚染、地下水汚染を引き起こしたと考えられている。現在でもこれらの原因について詳細な調査が環境省によって行われている。われわれは土壌試料、イネ、患者の尿から DPAA 関連化合物の検出法を試みた。¹⁴⁾その HPLC/ICP-MS クロマトグラムを Fig. 6 に示す。本検出法はこれらのヒ素含有化学剤の検出に非常に有効であり、また環境汚染状況の把握、ヒ素含有化学剤の代謝等にも応用できた。¹⁵⁻¹⁷⁾この事例を契機に、わが国でも安全な飲料水の確保や健康影響を調査する上でヒ素を含む化学剤の汚染状況を把握する必要が生じた。またこれらについての筆者らの解説もあるので合わせて参照されたい。^{18,19)}

5. ヒ素を含有する化学剤の処理法

これまで述べてきたヒ素含有化学剤のほとんどはその分子中にヒ素塩素結合を持つため、汚染した際の除染にはアルカリ性薬液の散布や薬液分解処理が有効であろう。特に小規模の場合には次亜塩素酸ナトリウム溶液やさらし粉（次亜塩素酸カルシウム）懸濁液を用いたり、過マンガン酸カリウム又は5%過酸化水素水などの酸化剤を含む水酸化ナトリウムや炭酸ナトリウムを用いて処理を行う。これは揮発性を持つ三価のアルシンを酸化剤により酸化を行い揮発性の極めて低い五価の安定なヒ素に変換すると同時に脱塩素を行うのに有効である。これらの処

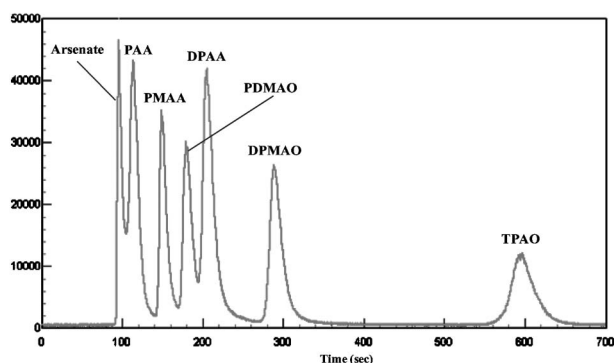


Fig. 6. HPLC/ICP-MS Chromatogram of Phenylarsenic Compounds

The analytical conditions were as follows: the column was CHEM-COSORB 5CN-U (2.1 \times 150 mm) and the guard column was Inertsil C4 (1.5 \times 10 mm); the mobile phase was 50 mM of citrate buffer (pH 5.5)/methanol/acetoneitrile=70:20:10, the flow rate was 0.2 ml/min, the temperature was 40°C, and the injection volume was 10 μ l. PAA: phenylarsonic acid, PMAA: phenylmethylarsinic acid, PDMAO: phenyldimethylarsine oxide, DPAA: diphenylarsinic acid, DPMAO: diphenylmethylarsine oxide, TPAO: triphenylarsine oxide.

理のうち、鉄と酸化剤を用いたフェントン酸化による処理法がファルマシアに詳しく解説されているので参照されたい。²⁰⁾ジフェニルシアノアルシンもアルカリ処理が有効であり、酸を用いた場合にはシアンを遊離する恐れがあるので注意を要する。これらのヒ素含有廃液は特殊有害廃液として処理するか化学工学的にヒ素の除去を行う。しかし化学剤が環境中に漏出した場合には、大気中への拡散を一刻も早く防ぐため、素早い酸化とアルカリ処理が必須である。

わが国ではヒ素を含む化学剤の漏出事故や遺棄砲弾が十数カ所からみつまっている。²¹⁻²³⁾これら大規

模な化学剤の処理には、揮散を防ぐため大型テントを設置した中で作業を行う。すなわち汚染土壌の掘削工事や埋没砲弾等を周辺環境から区別して近隣の住民や作業労働者に接しないよう注意を払うことが重要である。またテント内の有害物質の外部への漏出を防ぐため、HEPA フィルターの設置や電気集塵機の設置が重要である。これらの大規模ヒ素化合物の処理は基本的には有機ヒ素化合物を高温加熱炉で燃焼分解を行い、すべてヒ素の無機化を行う。生成したヒ酸は硫化物として除去するか溶解してヒ素の不溶化処理を行う。また燃焼過程で生じた亜ヒ酸微粒子は HEPA フィルターなどを用いて除去する。²⁴⁻²⁸⁾

また神栖市で起きた DPAA による地下水汚染や土壌汚染の処理については、環境省が中心となっていくつかの処理技術が開発された。すなわち地下水は逆浸透膜による除去、活性炭吸着並びに凝集沈殿法、又はオゾンを用いた酸化処理などの技術を用いて除去している。さらに土壌については焼却を行い、溶解又は硫化物によるヒ素の不溶化を行って安全対策がなされているので各省庁のホームページを参照されたい。

6. おわりに

わが国で製造された化学兵器はいまだ国内及び中国に埋められたままの状態が続いており、戦後 60 年を経て、砲弾から内容物がいつ漏出するか分からない状態である。また海洋投棄された砲弾も海水の浸食により同様の状況である。このようなことからヒトに健康被害を及ぼし、環境汚染を引き起こす可能性のある化学剤の処理は経済的にも労力的にも負担が大きい、一刻も早い探索と処理が重要である。

謝辞 本稿を書くに当たって貴重な資料を頂き、またご助言を頂きました環境省環境保健部環境リスク評価室の各位に深謝いたします。

REFERENCES

- 1) Anthony T., Inoue, N., “Kagaku Seibutsu Heiki gairon Kisochishiki, Seitai sayou, Chiryou to Seisaku,” Jihou, Tokyo, (2001) p. 56.
- 2) Hisamura T., Nakamura T., “Kagaku Heiki no Riron to Jissai,” Rikugun kagaku ken-

- kyusho koutoukan syukaisho, Tokyo, 1936.
- 3) Ministry of the Environment: (<http://www.env.go.jp/chemi/report/h15-02/>), Reports of follow-up working papers, “Reserch of Old Japanese Army Poison-gas Bombs of 1973,” Jun., 2003.
- 4) Tsuneishi K., Sugishima M., (translated) “Seibutsu Kagaku Heiki no Shinjitsu,” Springer- Verlag Tokyo, Inc., Tokyo, 2003, P.108. [Croddy E., “Chemical and Biological Warfare A Comprehensive Survey for the Concerned Citizen,” Springer- Verlag New York, Inc., New York, 2002].
- 5) Hanaoka N., *Chem. Times*, **194** (4), 11 (2004).
- 6) Matsumura T., *Rekishigaku Kenkyu*, **2**, 56 (1985).
- 7) Matsumura T., Matsuno S., “Kantougun Kagakubu Doku Gasusen Kyouiku Enshu Kankei Shiryo” Fuji Shuppan Co., Tokyo, 2006, p. 5-23.
- 8) Schoene K., Steinhanses J., Bruckert H.-J., Konig A., *J. Chromat.*, **605**, 257 (1992).
- 9) Haas R., Schmidt T. C., Steinbach K., Low E. V., *Fresenius J. Anal Chem.*, **361**, 313 (1998).
- 10) Pitten F. A., Thurow K., Koch A., Kramer A., “Chemical Analysis of Organoarsenic Based Chemical Warfare Agents in the Environment,” Trace elements –Their distribution and effects in the environment, eds. by Markert B., Friese K., Elsevier K., Science B. V., 2000.
- 11) Kinoshita K., Honda K., Seto Y., Kaise T., *Appl. Organomet. Chem.*, **20**, 591-596 (2006).
- 12) Ishi K., Sakuta M., *Nou to Shinkei*, **55**(12), 1065 (2003).
- 13) Ishii K., Tamaoka A., Otsuka F., Iwasaki N., Shin K., Matsui A., Endo G., Kumagai Y., Ishii T., Shoji S., Ogata T., Ishizaki M., Doi M., Shimojo N., *Ann. Neurol.*, **56**, 741 (2004).
- 14) Kinoshita K., Ishizaki M., Shida Y., Sakuma C., Kiso K., Ito H., Morita M., Ochi T., Kaise T., *Appl. Organomet. Chem.*, **18** (2004).
- 15) Ochi T., Kinoshita K., Suzuki T., Miyazaki K., Noguchi A., Kaise T., *Arch. Toxicol.*, **80**, 486-491 (2006).
- 16) Kinoshita K., Ochi T., Suzuki T., Kita K.,

- Kaise T., *Toxicology*, **225**, 142–149 (2006).
- 17) Kinoshita K., Noguchi A., Ishii K., Tamaoka A., Ochi T., Kaise T., *J. Chromatogr. B*, **867**, 179–188 (2008).
- 18) Kaise T., Kinoshita K., *Bunseki*, **6**, 284–290 (2005).
- 19) Kinoshita K., Kaise T., *Sangyou to Kankyou*, **8**, 31–34 (2006).
- 20) Furukawa N., Nakahodo T., *Farumashia*, **40**, 235–239 (2004).
- 21) Ministry of the Environment: (http://www.env.go.jp/chemi/gas_inform/sonota_singi/gas/06/mat04-1.pdf), Hiratsuka ni okeru Chikasui Osenn no Gennjo oyobi Kongo no Taisaku ni Tsuite, November, 2007.
- 22) Ministry of the Environment: (http://www.env.go.jp/chemi/gas_inform/sonota_singi/gas/youshi18_03.html), Yuuki Hiso Kagoubutsu ni Osen Sareta Dojo oyobi Chikasui no Joka Gijutsu ni Kansuru Chosa Kenkyu Gyomu no Kekka ni Tsuite 2005, April, 2006.
- 23) Nihongakujutsu Kaigi, “Iki Kagaku Heiki no Haiki Gijutsu ni Taisuru Kagakuteki Risuku Hyouka to Risuku Kanri wo Mezashite,” 26, November, 2002.
- 24) The ministry of foreign affairs of Japan: (<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/bwc/cwc/rouchikuka.html>), Kokunai ni Okeru Kyu Nippon Gun no Roukyu Ka Kagaku Heiki Mondai no Genzyou, January, 2007.
- 25) Ministry of Defense and Koube Seikou: (<http://www.town.kanda.lg.jp/kagaku/538kagaku.pdf>), Kanda Kou de Hakken Sareta Roukyuka Kagaku Heiki no Mugaika Shori, November, 2007.
- 26) Kounoikegumi: (http://www.konoike.co.jp/et/441/441_1.html), Yuuki Hiso Kagoubutsu oyobi Osen Dojo no Tekkyo Shori, November, 2007.
- 27) Hazama: (<http://www.hazama.co.jp/tech/pdf/iki.pdf>), Iki Kagaku Heiki Shori, November, 2007.
- 28) Cabinet Office, Government of Japan: (<http://www8.cao.go.jp/ikikagaku/gaiyou2.pdf>), Chuugoku ni Okeru Kyu Nihon Gun Iki Kagaku Heiki Shori Jigyuu no Gaiyou 2002, November, 2003.