

神奈川県平塚市における土壌調査等の結果と今後の対応について（案）

1. これまでの経緯

神奈川県平塚市内のA事案区域内に所在する民有地において、土地改変する範囲で神奈川県生活環境の保全等に関する条例に基づく土壌調査（深度 50cm まで）を実施したところ、ヒ素及びその化合物について溶出量環境基準（0.01 mg/L）の超過が認められたことから地権者は土地改変（掘削作業）によって発生した掘削土壌をフレキシブルコンテナバッグに収納した上で、同敷地内に一時保管した（なお、掘削土壌の保管は、屋根付きのコンクリート構造物内で行っていることから風雨の影響を受けることはなく、土壌の拡散や人へのばく露の危険性はないことに加え、常時施錠されており、人の立ち入りや利用はない。）

その後、当該地権者から環境省に対し、①土壌から有機ヒ素化合物が検出されるか否かの確認（分析）と、②有機ヒ素化合物が検出された場合にはその土壌の処理について要望がなされたことを受け、環境省では、平成 29 年度から平成 30 年度にかけて、入念的な措置として、フレキシブルコンテナバッグに収納された掘削土壌の一時保管場所内部の大気調査を実施して安全性を確認したうえで、A事案区域内において土壌調査を実施する際と同様の分析項目について土壌分析調査を実施した。

2. 大気調査の結果について

(1) 調査方法

分析作業従事者の労働安全衛生を確保する観点から、入念的な措置として、大気試料採取前に、携帯型化学剤検知器（RAID-M100、イグザム 7000）及び可搬型 GC/MS（HAPSITE）により一時保管場所内の空気の検知・測定を実施し、旧軍化学剤（硫黄マスタード、ルイット、ホスゲン、シアン化水素）が検知・検出されないことを確認してから、一時保管場所内（1 地点）において、A事案区域内において実施するものと同じ大気調査（サンプリング）を実施した。

(2) 分析項目及び定量下限値

以下のとおりである（A事案区域内において実施する大気調査と同様である）。

- 硫黄マスタード（HD） 定量下限値： 0.00002 mg/m³ 以下
- ルイサイト（L1、L2） 定量下限値： 0.003 mg/m³ 以下
- ホスゲン（CG） 定量下限値： 0.09 mg/m³ 以下
- シアン化水素（AC） 定量下限値： 0.55 mg/m³ 以下

(3) 調査結果

一時保管場所内の空気の検知・測定及び大気調査の結果、旧軍化学剤は検出されず、日常生活上の安全性が確認された。

3. 土壌試料分析調査の結果について

(1) 調査方法

各フレキシブルコンテナバッグから採取された土壌試料（計 159 試料）について、A 事案区域内において実施する土壌調査と同様に、9 点の土壌試料を等量混合して 1 検体として構成することを原則とし、計 19 検体を構成して土壌分析調査を実施した（第 1 次土壌分析）。なお、検体の構成に際しては、同一または近傍地点から掘削・回収された土壌試料を同じ検体としている。

その結果、検出が認められた検体については、検体構成前の個々の土壌試料に対する個別分析を行い、検出土壌の絞り込みを行うこととした（第 2 次土壌分析）。

(2) 分析項目及び定量下限値

表 1 のとおりである（A 事案区域内において実施する土壌調査と同様である）。

表 1 土壌分析項目と定量下限値

分析項目	溶出試験 定量下限値	含有量試験 定量下限値
①硫黄マスタード(HD)	0.001 mg/L 以下	0.05 mg/kg－湿土以下
②レイサイト1(L1)又はその分解生成物	0.002 mg/L以下	3mg/kg－乾土以下
③レイサイト2(L2)又はその分解生成物	0.003 mg/L以下	4mg/kg－乾土以下
④ジフェニルクロロアルシン(DA)	0.003 mg/L以下	5mg/kg－乾土以下
⑤ジフェニルシノアルシン(DC)	0.003 mg/L以下	5mg/kg－乾土以下
⑥ジフェニルアルシン酸(DPAA)	0.003 mg/L以下	5mg/kg－乾土以下
⑦フェニルアルソン酸(PAA)	0.002 mg/L以下	4mg/kg－乾土以下
⑧ビス(ジフェニルアルシン)オキシド(BDPAO)	0.003 mg/L以下	5mg/kg－乾土以下

※：②～⑧については、溶出試験で検出された場合のみ含有量試験を行う。

(3) 調査結果（表 2 参照）

① 第 1 次土壌分析の結果、溶出試験については、硫黄マスタード、ジフェニルシノアルシン、ジフェニルクロロアルシン、ビス（ジフェニルアルシン）オキシドは検出されなかったが、15 検体から次の有機ヒ素化合物の検出が認められた（重複した検出が認められた検体もあるが、物質ごとに集計している）。

- ジフェニルアルシン酸 : 14 検体から検出
- フェニルアルソン酸 : 13 検体から検出
- レイサイト又はその分解生成物 : 3 検体から検出

また、含有量試験については、すべての検体について不検出であった。

② ①において検出が認められた検体については、第 2 次土壌分析（計 123 試料）を実施した結果、溶出試験については、100 試料から次の有機ヒ素化合物の検出が認められた（重

複した検出が認められた検体もあるが、物質ごとに集計している)。

- ジフェニルアルシン酸 : 73 試料から検出
- フェニルアルソン酸 : 85 試料から検出
- ルイサイト又はその分解生成物 : 19 試料から検出

各分析項目の最大検出値(溶出量)は、ジフェニルアルシン酸は3.3mg/L、フェニルアルソン酸は4.2mg/L、ルイサイト又はその分解生成物は0.048mg/Lであった。

また、含有量試験については、ルイサイト又はその分解生成物は検出されなかったが、26 試料から次の有機ヒ素化合物の検出が認められた(重複した検出が認められた検体もあるが、物質ごとに集計している)。

- ジフェニルアルシン酸 : 10 試料から検出
- フェニルアルソン酸 : 26 試料から検出

なお、溶出試験で微量検出されたルイサイト又はその分解生成物について、検出されたものがルイサイトであるのかその分解生成物であるのかまでは、現在の分析技術では特定できなかったが、一般的にルイサイトは環境中で速やかに加水分解されることが知られていることに加え、現場において不審物の発見等の異常はなかったこと、溶出量試験で検出された濃度も定量下限値付近とごく微量であり、含有量試験では不検出であったことも踏まえると、最近新たに化学剤による土壌汚染が生じたものではなく、戦時中の化学剤が戦後70年以上を経て分解生成物としてわずかに残存したものが検出されたと推定される。

4. 今後の対応(案)

一時保管場所における日常生活上の安全性は確認されており、検出が認められた土壌については、引き続き現在の保管状況を維持していただくよう地権者の理解と協力を依頼する。また、土壌分析調査によって有機ヒ素化合物が検出された土壌については、今後、適正な処理に向けて、地権者等との調整を進めることとする。

表2 土壌試料分析調査結果

注: NDは定量下限値未満であることを示す。

項目 No.	溶出試験(単位:mg/L)										含有量試験(単位:mg/kg)										処理 対象			
	第1次土壌分析結果(原則9試料を1検体として構成)					第2次土壌分析結果(個別分析)					第1次土壌分析結果(原則9試料を1検体として構成)					第2次土壌分析結果(個別分析)								
	検体No.	硫黄 マスタード (HD)	ルイサイト1 関連物質	ルイサイト2 関連物質	ジフェニル クロロアルシン (DA)	ジフェニル シアノアルシン (DC)	ジフェニル アルソン酸 (DPAA)	フェニル アルソン酸 (PAA)	ビス(ジフェニル アルシン)オキシ ド(BDPAO)	検体No.	ルイサイト1 関連物質	ルイサイト2 関連物質	ジフェニル アルソン酸 (DPAA)	フェニル アルソン酸 (PAA)	検体No.	硫黄マスタード (HD)	ルイサイト1 関連物質	ルイサイト2 関連物質	ジフェニル アルソン酸 (DPAA)	フェニル アルソン酸 (PAA)		検体No.	ルイサイト1 関連物質	ルイサイト2 関連物質
1	No.1	ND	ND	ND	ND	0.087	0.25	ND	1-1	/	/	0.036	1.8	No.1	ND	/	/	ND	ND	1-1	/	/	ND	18
2									1-2			0.58	1.7							1-2			8	18
3									1-3			0.048	2.4							1-3			ND	21
4									1-4			0.78	1.8							1-4			10	19
5									1-5			0.015	0.27							1-5			ND	ND
6									1-6			0.004	0.015							1-6			ND	ND
7									1-7			0.004	0.055							1-7			ND	ND
8									1-8			ND	ND							1-8			ND	ND
9									1-9			ND	0.004							1-9			ND	ND
10	No.2	ND	ND	ND	ND	1.0	1.4	ND	2-1	/	/	ND	0.019	No.2	ND	/	/	12	17	2-1	/	/	ND	ND
11									2-2			1.4	1.8							2-2			13	17
12									2-3			3.3	3.0							2-3			44	32
13									2-4			1.0	2.5							2-4			9	18
14									2-5			0.16	0.35							2-5			ND	4
15									2-6			0.27	0.26							2-6			ND	ND
16									2-7			0.012	0.15							2-7			ND	ND
17									2-8			0.32	0.58							2-8			ND	6
18									2-9			0.57	1.9							2-9			7	16
19	No.3	ND	ND	ND	ND	0.092	2.2	ND	3-1	/	/	0.018	0.014	No.3	ND	/	/	ND	24	3-1	/	/	ND	ND
20									3-2			0.36	0.58							3-2			ND	6
21									3-3			0.18	0.46							3-3			ND	6
22									3-4			0.5	0.58							3-4			6	8
23									3-5			0.008	0.4							3-5			ND	ND
24									3-6			0.16	0.45							3-6			ND	ND
25									3-7			0.031	4.2							3-7			ND	43
26									3-8			0.008	0.11							3-8			ND	ND
27									3-9			0.016	0.097							3-9			ND	ND
28	No.4	ND	ND	ND	ND	0.16	0.67	ND	4-1	/	/	0.013	0.023	No.4	ND	/	/	ND	7.8	4-1	/	/	ND	ND
29									4-2			0.22	0.82							4-2			ND	6
30									4-3			0.28	0.57							4-3			ND	8
31									4-4			0.004	0.015							4-4			ND	ND
32									4-5			0.35	0.84							4-5			ND	8
33									4-6			0.2	0.22							4-6			ND	ND
34									4-7			0.22	0.44							4-7			ND	5
35									4-8			0.64	0.59							4-8			6	5
36									4-9			0.24	0.35							4-9			ND	5
37	No.5	ND	ND	ND	ND	0.32	0.77	ND	5-1	/	/	ND	ND	No.5	ND	/	/	ND	10	5-1	/	/	ND	ND
38									5-2			0.22	0.41							5-2			ND	ND
39									5-3			0.23	0.33							5-3			ND	ND
40									5-4			0.003	0.027							5-4			ND	ND
41									5-5			0.05	0.097							5-5			ND	ND
42									5-6			0.29	0.36							5-6			ND	4
43									5-7			0.011	0.21							5-7			ND	ND
44									5-8			0.27	0.69							5-8			ND	5
45									5-9			0.84	3.4							5-9			8	30
46	No.6	ND	ND	ND	ND	0.15	0.62	ND	6-1	/	/	ND	0.002	No.6	ND	/	/	ND	6.2	6-1	/	/	ND	ND
47									6-2			ND	ND							6-2			ND	ND
48									6-3			0.25	0.19							6-3			ND	ND
49									6-4			0.2	0.37							6-4			ND	ND
50									6-5			0.029	0.04							6-5			ND	ND
51									6-6			ND	ND							6-6			ND	ND
52									6-7			0.19	0.62							6-7			ND	5
53									6-8			ND	0.063							6-8			ND	ND
54									6-9			ND	ND							6-9			ND	ND
55	No.7	ND	ND	ND	ND	0.048	0.14	ND	7-1	/	/	0.005	0.01	No.7	ND	/	/	ND	ND	7-1	/	/	ND	ND
56									7-2			ND	0.004							7-2			ND	ND
57									7-3			0.099	0.19							7-3			ND	ND
58									7-4			ND	0.003							7-4			ND	ND
59									7-5			0.089	0.28							7-5			ND	ND
60									7-6			ND	ND							7-6			ND	ND
61									7-7			0.005	0.005							7-7			ND	ND
62									7-8			0.008	0.013							7-8			ND	ND
63									7-9			0.067	0.036							7-9			ND	ND
64	No.8	ND	ND	ND	ND	0.008	0.029	ND	8-1	/	/	0.009	0.048	No.8	ND	/	/	ND	ND	8-1	/	/	ND	ND
65									8-2			ND	0.007							8-2			ND	ND
66									8-3			ND	0.008							8-3			ND	ND
67									8-4			0.003	0.03							8-4			ND	ND
68									8-5			ND	ND							8-5			ND	ND
69									8-6			ND	ND							8-6			ND	ND
70									8-7			ND	0.003							8-7			ND	ND
71									8-8			ND	0.026							8-8			ND	ND
72									8-9			0.004	0.014							8-9			ND	ND
73	No.9	ND	ND	ND	ND	0.14	0.059	ND	9-1	/	/	0.03	0.051	No.9	ND	/	/	ND	ND	9-1	/	/	ND	ND
74									9-2			0.008	0.01							9-2			ND	ND
75									9-3			0.087	0.011							9-3			ND	ND
76									9-4			0.14	0.01							9-4			ND	ND
77									9-5			0.029	0.041							9-5			ND	ND
78									9-6			ND	ND							9-6			ND	ND
79									9-7			0.24	0.2							9-7			ND	ND
80									9-8			0.13	0.14							9-8			ND	ND
81									9-9			0.02	0.018							9-9			ND	ND
定量下限値	0.001mg/L 以下	0.002mg/L 以下	0.003mg/L 以下	0.003mg/L 以下	0.003mg/L 以下	0.003mg/L 以下	0.002mg/L 以下	0.003mg/L 以下	定量下限値	0.002mg/L 以下	0.003mg/L 以下	0.003mg/L 以下	0.002mg/L 以下	定量 下限値	0.05mg/kg 以下	3mg/kg 以下	4mg/kg 以下	5mg/kg 以下	4mg/kg 以下	定量下限値	3mg/kg 以下	4mg/kg 以下	5mg/kg 以下	4mg/kg 以下

ルイサイト関連物質の分析における技術的な課題について

1. 環境調査マニュアルにおける土壌中のルイサイト関連物質分析に係る記載について

旧軍毒ガス弾等に関する環境調査については、国内における毒ガス弾等に関する総合調査検討会において了承を得た「分類Aの事案（寒川、平塚、習志野）に係る環境調査方法について」及びその別添資料「分類Aの事案（寒川：相模海軍工廠跡地、平塚：相模海軍工廠化学実験部跡地、習志野：陸軍習志野学校跡地。以下、特定区域という。）の区域において実施する旧軍由来の汚染物等に関する環境調査の基本的事項とその具体的内容について」（以下、「環境調査マニュアル」という。）に基づいて実施している。

環境調査マニュアルには、土壌試料に関するルイサイト関連物質の分析について、次のように記載している（以下、ルイサイト関連物質部分のみ抜粋）。

土壌調査において、あか剤関連物質及びルイサイト関連物質については、まず溶出試験を実施し、検出されれば含有量試験を実施する。硫黄マスタードについては、溶出試験の際に加水分解する可能性があるため、溶出試験と含有量試験を両方実施する（表IV－1参照）。

(3) ルイサイト関連物質

- ルイサイト（L1） 定量下限値：0.002 mg/L 以下（溶出量）
3mg/kg-乾土以下（含有量）
- ルイサイト（L2） 定量下限値：0.003 mg/L 以下（溶出量）
4mg/kg-乾土以下（含有量）
- 2-クロロビニル亜アルソン酸（CVAA） 定量下限値：0.002 mg/L 以下（溶出量）
3mg/kg-乾土以下（含有量）

※ ただし、ルイサイト1と2-クロロビニル亜アルソン酸は、あわせて分析することを妨げない。

表IV－1 土壌調査の分析項目

対象物質	溶出試験	含有量試験
③ ルイサイト関連物質		
● ルイサイト1（L1）	○	
● ルイサイト2（L2）	○	
● 2-クロロビニル亜アルソン酸（CVAA）	○	

※ ①及び③については、溶出試験で検出されれば含有量試験も実施する。

2. ルイサイト関連物質の分析における技術的な課題

今回の平塚市の事案における掘削土壌の分析調査を実施した結果、ルイサイトの分析方法について次のような課題があることが認められた。

- ルイサイト関連物質の分析方法は、現在、チオール誘導体化 GC/MS 分析しかないが、この分析方法による場合は、ルイサイト 1 (L1) とその分解生成物である 2-クロロビニル亜アルソン酸 (CVAA) の個別定量化ができず、両者の合算値となる (なお、当該合算値は、CVAA 以降の分解生成物も含んだ値である可能性がある)。また、ルイサイト 2 についても同様に、その分解生成物との合算値となる。
- このため、チオール誘導体化法 GC/MS 分析による分析結果だけでは、検出されたものがルイサイト (L1、L2) であるのかその分解生成物であるのかまでは特定できない。

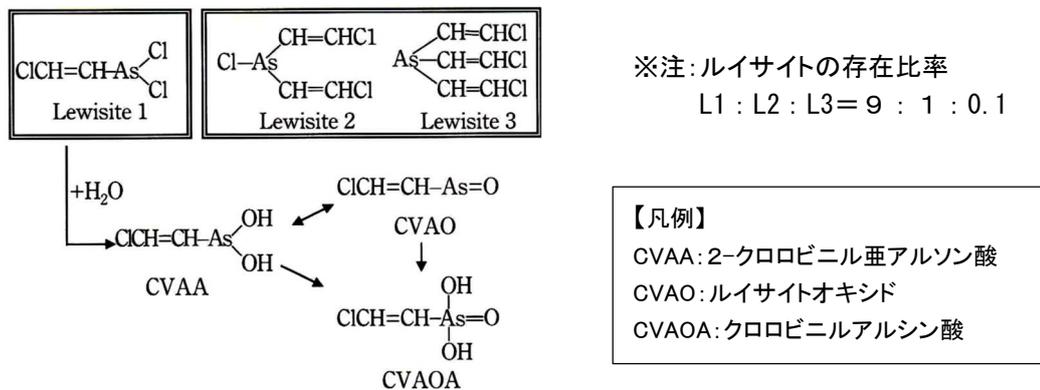


図 ルイサイトの分解経路と関連物質

(出典: 花岡成行 化学と生物 (日本農芸化学会誌) Vol. 45, No. 2 132-138 2007)

3. 環境調査マニュアルの記載の修正について (案)

以上を踏まえ、ルイサイト (L1、L2) 単体の定量分析方法が確立するまでの間、環境調査マニュアルにおけるルイサイト関連物質に係る土壌試料分析項目の記載については、以下のように修正することとする。

(3) ルイサイト関連物質

- ルイサイト 1 (L1) 及びその分解生成物※ 定量下限値: 0.002 mg/L 以下 (溶出量)
3mg/kg-乾土以下 (含有量)
- ルイサイト 2 (L2) 及びその分解生成物 定量下限値: 0.003 mg/L 以下 (溶出量)
4mg/kg-乾土以下 (含有量)

※ 2-クロロビニル亜アルソン酸 (CVAA) 等

表IV-1 土壌調査の分析項目

対象物質	溶出試験	含有量試験
③ ルイサイト関連物質		
● ルイサイト 1 (L1) 及びその分解生成物	○	
● ルイサイト 2 (L2) 及びその分解生成物	○	

※ ①及び③については、溶出試験で検出されれば含有量試験も実施する。