

危険物流出事故等における周辺土壌のイオン分析手法 に関する検証

塚原 学*, 黒田 裕司**, 鳥谷 淳*

概 要

危険物施設で発生した危険物流出等の事故原因を特定するため、これまで配管破断面等の金属組織観察、周辺土壌の水素イオン濃度及び水分量の測定、周辺土壌中の油類の成分分析等を行ってきたが、周辺土壌に含まれるイオンの分析については行っていなかった。そこで、地下貯蔵タンクや金属配管等周辺土壌に含まれるイオンについて、キャピラリー電気泳動装置を用いて分析を行うための手法について検証した。その結果、イオンを溶媒中に溶出する前処理時の土壌と溶媒（超純水）の混合量がイオン検出に大きく影響を及ぼすことがわかった。このため、土壌と超純水の最適な比率を求め、分析条件を決定した。これにより、油とともに土壌中のイオンの分析も早期にできるようになった。

1 はじめに

近年、ガソリンスタンド等の危険物施設における埋設配管や地下貯蔵タンクからの危険物の漏洩事故が多く発生している。これらの漏洩事故発生の原因としては金属配管の腐食が考えられる。腐食の発生にはイオンが影響するが、危険物施設における配管は土中に埋設されているため、配管の腐食には土中に含まれるイオンが影響を及ぼすと考えられる。平成21年度に実施した「危険物流出等の事故原因に関する検証」の中で、流出事故等が発生した危険物施設等の腐食環境をより詳細に調査するため、現行の分析に加え新たに土壌のイオン分析を行う必要があるとされた。これまでの分析測定では土壌に流出した危険物の成分分析に加え、土壌の水素イオン濃度及び水分量測定を行ってきたが、土壌に含まれるイオン成分の分析については行われていなかった。

そこで本検証では、流出事故等が発生した危険物施設の腐食環境をより詳細に調査し、流出事故等の直接的な原因を明らかにするため、地下貯蔵タンクや金属配管等周辺土壌のイオン分析手法について検証した。

2 使用機器

本検証ではキャピラリー電気泳動装置（以下「CE」という。）を用いて土壌に含まれる陽イオン及び陰イオンを分析した。キャピラリー電気泳動は、内径100 μm 以下のシリカ製キャピラリー内に泳動液として緩衝液を満たし、キャピラリーの一方の端から極微量（数ナノリットル）の試料を注入し、両端に高電圧をかけて泳動を行

い、もう一方の端に設けた検出器で検出する。試料の電荷、イオン性、イオン半径、形状といった成分ごとの特性の違いにより移動速度に差異が生じるため、多様な試料成分を分離することができる。使用した装置は写真1に示す Agilent CE（アジレント・テクノロジー社）であり、分析における測定条件等は以下のとおりである。



写真1 キャピラリー電気泳動装置

(1) 陽イオン分析

- ・キャピラリー 標準フューズドシリカキャピラリー
(内径50 μm 、全長64.5 cm、有効長56 cm) (アジレント・テクノロジー社)
- ・緩衝液 陽イオン分析用バッファ (アジレント・テクノロジー社)
- ・カセット温度 25 $^{\circ}\text{C}$
- ・材料注入圧力 50.0 hPa
- ・材料注入時間 2.0 秒
- ・極性 Positive (+)

- ・電圧 30 kV
- ・測定時間 8 分
- ・検出器 ダイオードアレイ検出器
- ・検出波長 試料：310 nm±20 nm
標準：215 nm±10 nm
- ・標準試料 陽イオン標準液
(NH_4^+ ：100 ppm, K^+ ：100 ppm, Na^+ ：100 ppm, Ca^{2+} ：100 ppm, Mg^{2+} ：100 ppm)

(2) 陰イオン分析

- ・キャピラリー 標準フューズドシリカキャピラリー
(内径 50 μm 、全長 112.5 cm、有効長 104 cm) (アジレント・テクノロジー社)
- ・緩衝液 陰イオン分析用バッファ (アジレント・テクノロジー社)
- ・カセット温度 30 $^{\circ}\text{C}$
- ・材料注入圧力 50.0 hPa
- ・材料注入時間 6.0 秒
- ・極性 Negative (-)
- ・電圧 30 kV
- ・測定時間 15 分
- ・検出器 ダイオードアレイ検出器
- ・検出波長 試料：350 nm±20 nm
標準：275 nm±10 nm
- ・標準試料 陰イオン標準液
(Br^- ：1000 ppm, Cl^- ：1000 ppm, NO_3^- ：1000 ppm, SO_4^{2-} ：1000 ppm, F^- ：1000 ppm)

※上記陽イオン及び陰イオン標準液をそれぞれ 10 倍に希釈

3 検証方法

(1) 分析における土壌の前処理条件

採取した土壌に含まれるイオンを分析するにあたり、本検証では文献¹⁾等を参考として、以下の手順により最適な土壌の前処理条件の検討を行った。

ア 土壌の採取

危険物の漏洩現場において、漏洩したと考えられる付近の土壌（汚染土壌）と対照試料として漏洩物の影響がない土壌（非汚染土壌）を採取した。また、土壌に含まれる含有量のばらつきを考慮し、各箇所において複数の土壌を採取した。

土壌の採取にあたり、次の点を考慮した。

(ア) 採取箇所

地表ではなく、地中の土壌を採取した。その理由として地表の土壌は空気や雨水に曝露するため、鉱物中に微量存在する重金属が溶出したり、酸化に伴い重金属等の溶出が促進される場合があるので避けることとした。

(イ) 採取数

漏洩物の分布は漏洩箇所を中心に局所的に高濃度と低濃度の箇所が存在するため、土壌の採取数は複数とした。

イ 土壌の風乾

採取した土壌は風乾し、中小礫や木片等の異物を取り除いた。土塊、団粒を粉碎した後、非金属製の 2 mm の目のふるいに通過させて得た土壌を混合した。土壌を微細化し、十分混合することにより均質化した。土壌の風乾方法は一般的には大気中やホットプレート上にて行う。採取した土壌は湿っていたり状態が異なるため、風乾時間は適宜乾燥する時間とした。

ウ 土壌の保存

土壌は分析対象物が吸着若しくは溶出しない容器や袋に保存する。溶液及び袋は暗所に静置し、できるだけ速やかに試験を行う。本検証ではポリエチレン製容器にて保存した。

エ 土壌の溶液化

CE は液体中のイオンを分析する装置であるため、固体である土壌に含まれるイオンを分析するためには溶液化しなければならない。よって、土壌を溶媒と混合する必要がある。本検証では溶媒として超純水を用いた。CE 分析では、この土壌と溶媒の混合割合が土壌に含まれるイオンの検出に大きく影響を及ぼす。よって、分析に最適な土壌の量 (g) と超純水の量 (mL) について検討を行った。

オ 試料液の調製

土壌中の含有イオンが溶媒中に溶出するよう、溶液を室温（約 25 $^{\circ}\text{C}$ ）、常圧（約 1 気圧）にて攪拌した。攪拌容器は分析対象物が吸着若しくは溶出しない容器であって、溶媒の 1.5 倍以上の容積を持つものとし、本検証では攪拌容器としてガラス瓶を用いた。攪拌後の混合液を一定時間静置し、ろ紙を用いて上澄み液をろ過後、ガラス瓶に採りこれを試料液とした。なお、一定時間静置後も上澄みが生成しない場合は、遠心分離器を用いて混合液を上澄みと沈殿物に分離し、上澄み液を試料とした。

カ 分析

調製した試料液のイオン分析を CE により行った。

(2) イオン濃度に対するピーク強度

CE におけるイオン検出量を調べるため、土に含ませた陽イオン及び陰イオン標準液の濃度とピーク強度の関係を調べた。

(3) 漏洩事故等の現場で採取した土壌の測定事例

検証の結果得られた最適条件下において、実際に危険物流出事故等が発生したタンクや金属配管周辺の土壌の分析を行った。

4 検証結果

(1) 分析における土壌の前処理条件

ア 前処理における最適条件

本検証では、溶液の攪拌方法として、スターラーによる攪拌と超音波洗浄器による攪拌を検討した。土壌試料には消防技術安全所（以下「安全所」という。）敷地内の土壌（非汚染土壌）を用いた。試料液の調製条件を表 1 に示す。安全所敷地内の土は乾燥していたため風乾時

表 1 調製条件

攪拌方法	スターラー	超音波洗浄器
風乾環境	大気中	
風乾時間	2 時間	
攪拌温度	25 °C	室温
攪拌時間	2 時間	
回転数	1000 rpm	—

間を 2 時間とした。スターラーの回転数は当安全所における過去の検証²⁾から 1000 rpm とした。

表 1 の調製条件において、以下の項目について検討した。

(ア) 攪拌方法による比較

土壌 0.5 g、1.0 g、2.0 g を超純水 10 mL、30 mL、50 mL に混合し、スターラー及び超音波洗浄器により調製した試料液を分析した。攪拌方法の違いによる陽イオンの測定結果をそれぞれ表 2 及び表 3 に示す。

表 2 スターラーにより攪拌した試料液の測定結果

	10 mL	30 mL	50 mL
0.5 g	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺
1.0 g	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺
2.0 g	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺

表 3 超音波洗浄器により攪拌した試料液の測定結果

	10 mL	30 mL	50 mL
0.5 g	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺
1.0 g	Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺
2.0 g	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺

表 2 及び表 3 からほぼ全てのケースにおいて K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ のピークが検出され、スターラー及び超音波洗浄器による攪拌方法での大きな違いは確認されなかった。

(イ) 攪拌時間による比較

試料液の攪拌時間による変化を調べるため、時間を 15 分毎に区切って同様に分析を行った。(ア) の結果からスターラー及び超音波洗浄器ともに全てのイオンを検出したケースの一例である土壌 2.0 g を超純水 30 mL に混合した試料液について分析した。測定結果を表 4 に示す。

表 4 攪拌時間と攪拌方法の違いによる測定結果

攪拌時間	スターラー	超音波洗浄器
15 分	K ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺	K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺
30 分	K ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺	K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺
45 分	K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺	K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺
60 分	K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺	K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺
75 分	K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺	K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺
90 分	K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺	K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺
100 分	K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺	K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺
120 分	K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺	K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺

表 4 から、45 分以降についてはスターラー及び超音波洗浄器共に K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ のピークが検出されたことから、攪拌時間による大きな違いは見られなかった。

(ウ) 試料液の時間経過による比較

試料液の時間経過による変化を調べるため、試料液を調製後 1 週間静置させた上澄み液についても同様に分析を行った。スターラー及び超音波洗浄器で攪拌した試料液から検出された陽イオンをそれぞれ表 5 及び表 6 に示す。

表 5 スターラーにより攪拌した試料液の測定結果

	10 mL	30 mL	50 mL
0.5 g	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺
1.0 g	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺
2.0 g	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺

表 6 超音波洗浄器により攪拌した試料液の測定結果

	10 mL	30 mL	50 mL
0.5 g	Na ⁺ Ca ²⁺	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺
1.0 g	Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺
2.0 g	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺

表 5 及び表 6 より、調製から 1 週間経過した場合、スターラー及び超音波洗浄器共に検出されたイオンに何ケースか違いが見られたことから、試料液調製後は速やかに測定を行う必要があることが分かった。

上記から攪拌方法による大きな違いは見られなかったことから、本検証ではより簡便な方法である超音波洗浄器を用いて攪拌することとした。

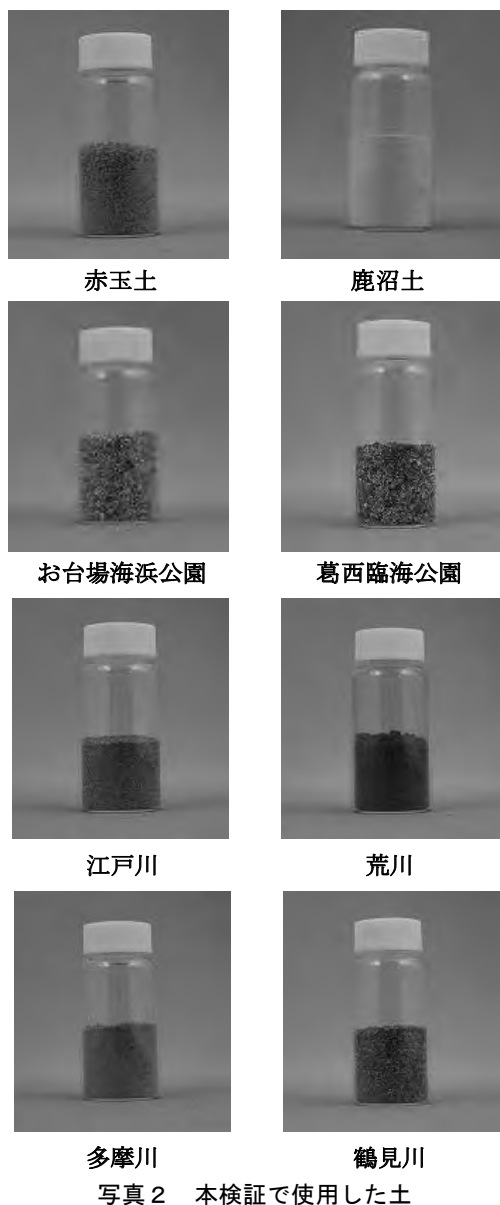
イ イオン検出条件

イオンの検出結果に大きく影響を及ぼすのは、攪拌時の土壌と溶媒（超純水）の混合量であることから、検出

に最適な土壌の重量(g)と超純水の量(mL)を調べた。本検証では、イオン標準液を含ませた土壌を用いて表1の前処理を行い、CE測定において全てのイオンが検出されるかどうかで、最適な混合量を判断した。

(ア) 本検証で使用した土

本検証では関東地方に広く分布している土（赤玉土、鹿沼土）、海浜（お台場海浜公園、葛西臨海公園）の土、河川（江戸川、荒川、多摩川、鶴見川）の土を用いた。なお、赤玉土、鹿沼土については市販されているものを用いた。それぞれの土の外観を写真2に示す。



(イ) イオン標準液の調製

・陽イオン標準液

NH_4Cl 、 KCl 、 NaCl 、 CaCl_2 、 MgCl_2 の試薬を用いて陽イオン標準液（含有イオン： NH_4^+ 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、濃度：100 mg/L）を調製した。

・陰イオン標準液

NaBr 、 NaCl 、 NaNO_3 、 Na_2SO_4 、 NaF の試薬を用いて陰イオン標準液（含有イオン： Br^- 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 F^- 、濃度：1000 mg/L）を調製した。陽イオン及び陰イオン標準液をそれぞれ10倍希釈した。

調製した陽イオン及び陰イオン標準液のCE測定結果を図1及び図2に示す。図より、調製した各イオン標準液の含有イオンのピークが全て検出されていることがわかる。よって、この標準液を用いて実験を行った。

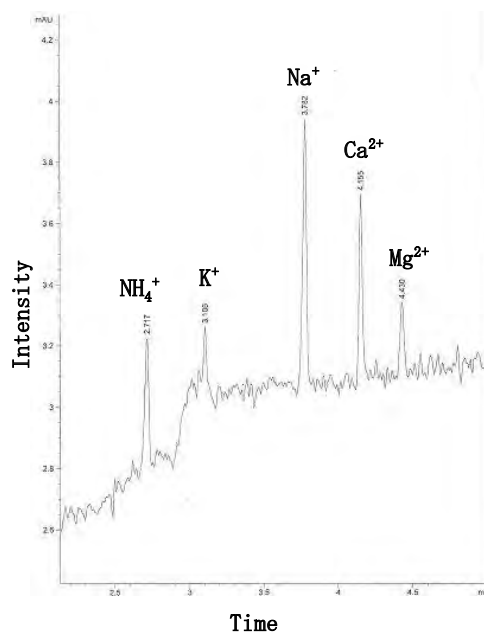


図1 陽イオン標準液の測定結果

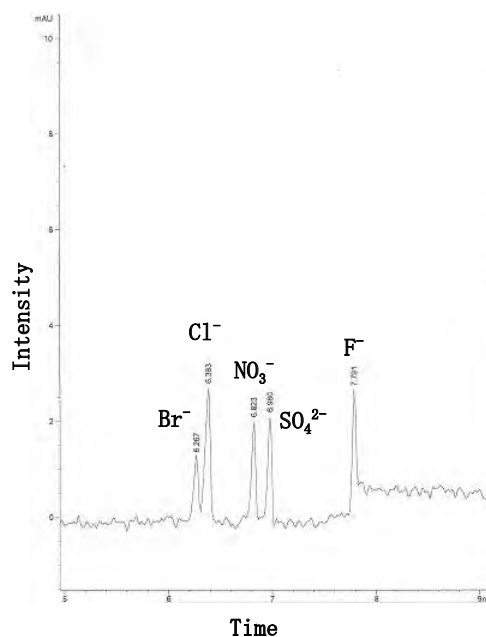


図2 陰イオン標準液の測定結果

(ウ) 土壌と超純水の最適混合量

イオン標準液を 100 mg/L、1000 mg/L、2000 mg/L の濃度に調製し、それぞれ土壌 0.1 g、1.0 g、5.0 g、10.0 g に含有（以下「イオン含有土壌」という。）させた。なお、土壌 1.0 g 当たりに含ませる量を 0.5 mL と少量にした。このイオン含有土壌を平皿上に均一に広げ、大気中で乾燥するまで適宜風乾させた。乾燥したイオン含有土壌を超純水 10 mL、30 mL、50 mL に混合し、超音波洗浄器により 2 時間攪拌した。攪拌後の混合液を遠心分離器（回転数：10000 rpm）を用いて、上澄みと沈殿物に分離するまで適宜かけた（約 90 分程で分離）。生成した上澄み液をろ紙（アドバンテック 5A）を用いてろ過し、ガラス瓶に採りこれを試料液とし分析を行った。

本検証では、まず関東地方に広く分布している一般的な土である赤玉土を用いて土壌と超純水の最適混合量を調べ、その後、赤玉土以外の土についても同様に検出可能か調べた。

a 陽イオン

(a) 赤玉土での分析

イオン標準液濃度 100 mg/L、1000 mg/L、2000 mg/L における試料液の CE 測定結果をそれぞれ図 3 から図 5 に、分析結果を表 7 に示す。

表 7 赤玉土での陽イオン分析結果

標準液の濃度	100 mg/L			1000 mg/L			2000 mg/L		
土/超純水の量	10 mL	30 mL	50 mL	10 mL	30 mL	50 mL	10 mL	30 mL	50 mL
0.1 g	×	×	×	○	×	×	○	○	×
1.0 g	—	×	×	—	○	○	—	○	○
5.0 g	—	○	×	—	○	○	—	○	○
10.0 g	—	○	×	—	○	○	—	○	○

○：陽イオン標準液の含有イオンを全て検出
—：懸濁するため分析不可能

表 7 から、土壌 5.0 g または 10.0 g を超純水 30 mL に混合した時が、100 mg/L、1000 mg/L、2000 mg/L のいずれの濃度の標準液においても 5 種類の含有イオン (NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) が全て検出可能であった。この混合量において、濃度が 100 mg/L 以下の標準液においても同様に分析を行った。分析結果を表 8 に示す。

表 8 濃度 100 mg/L 以下の陽イオン標準液分析結果

標準液の濃度	1 mg/L	10 mg/L	50 mg/L
土/超純水の量	30 mL	30 mL	30 mL
5.0 g	×	×	×
10.0 g	×	×	×

表 8 から、濃度 1 mg/L、10 mg/L、50 mg/L の標準液においては 5 種類の含有イオンを全て検出することはできなかった。よって、CE では濃度 100 mg/L 以上のイオン含有土壌 5.0 g または 10.0 g を超純水 30 mL に混合した時に検出が可能であった。

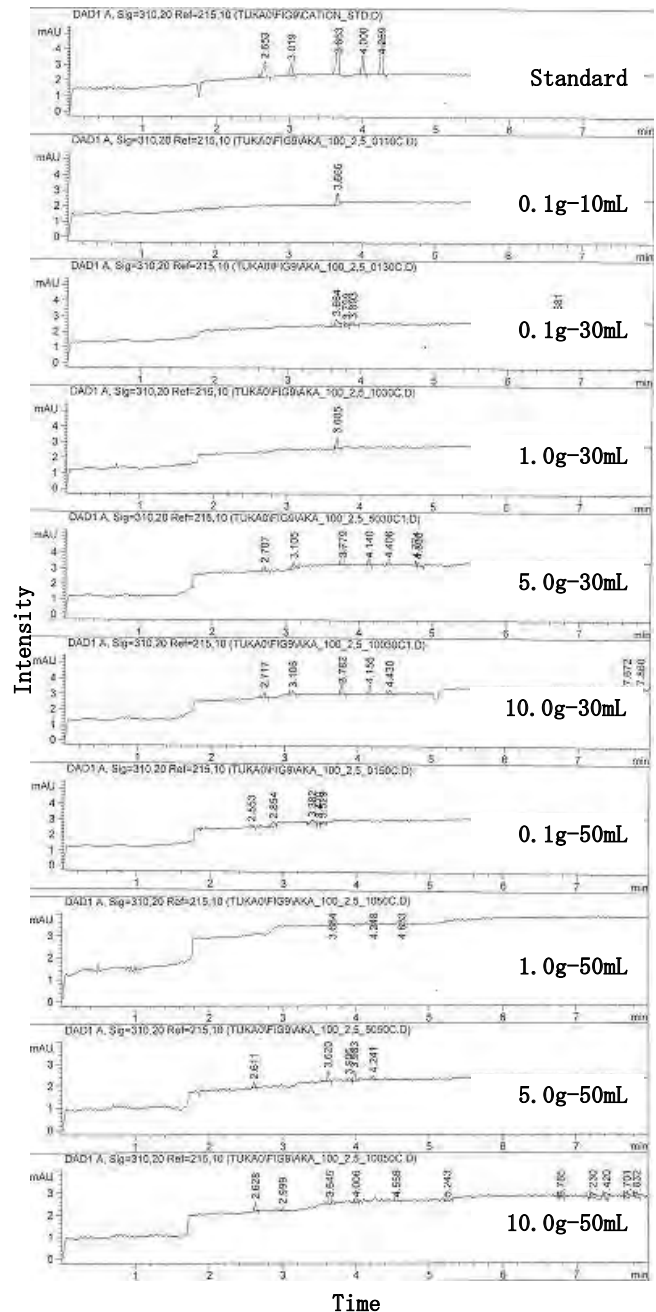


図 3 陽イオン標準液（濃度：100 mg/L）の測定結果

(b) 赤玉土以外の土での分析

赤玉土での分析結果から、他の種類の土について、濃度 100 mg/L のイオン含有土壌 5.0 g または 10.0 g を超純水 30 mL に混合させて同様に CE 測定を行った。分析結果を表 9 に示す。

表 9 赤玉土以外の土での陽イオン分析結果

	鹿沼土	お台場 海浜公園	葛西 臨海公園	江戸川	荒川	多摩川	鶴見川
標準液の濃度	100 mg/L						
土/超純水の量	30 mL						
5.0 g	○	○	○	○	○	○	○
10.0 g	○	○	○	○	○	○	○

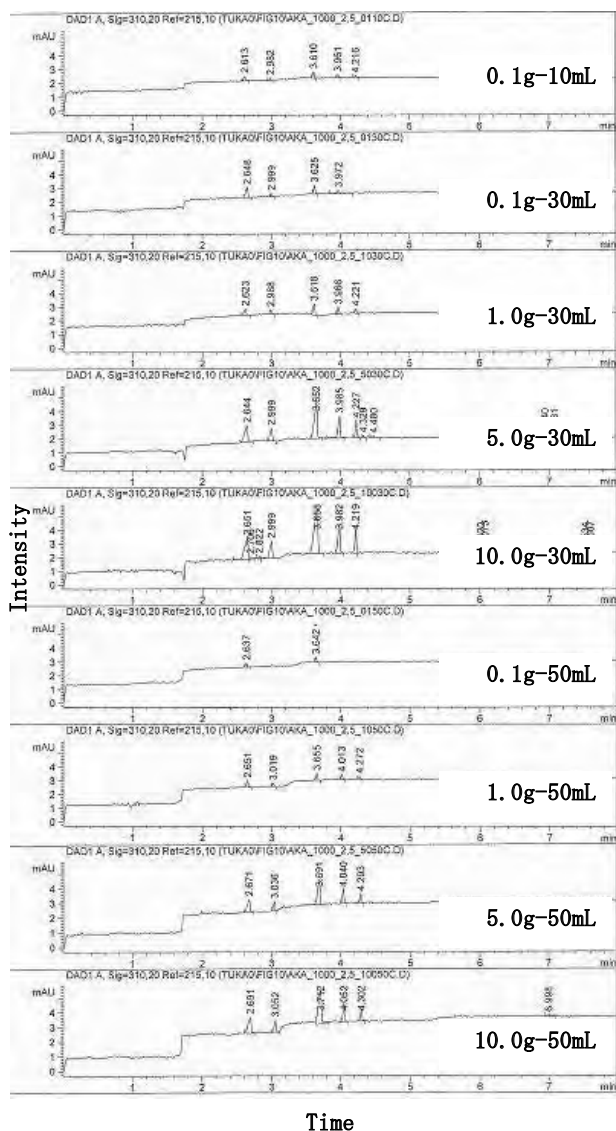


図4 陽イオン標準液（濃度：1000 mg/L）の測定結果

表9から、他の種類の土についても赤玉土での最適混合量で陽イオンが検出可能であった。

b 陰イオン

(a) 赤玉土での分析

陽イオンの結果を基に、赤玉土での陰イオン標準液の分析結果を表10に示す。

表10 赤玉土での陰イオン標準液分析結果

標準液の濃度	100 mg/L		1000 mg/L		2000 mg/L	
	30 mL	50 mL	30 mL	50 mL	30 mL	50 mL
5.0 g	×	×	○	○	○	○
10.0 g	×	×	○	○	○	○

○：陰イオン標準液の含有イオンを全て検出

表10から、土壌5.0 gまたは10.0 gに超純水30 mLまたは50 mLを混合した時が、1000 mg/L、2000 mg/Lの濃度の

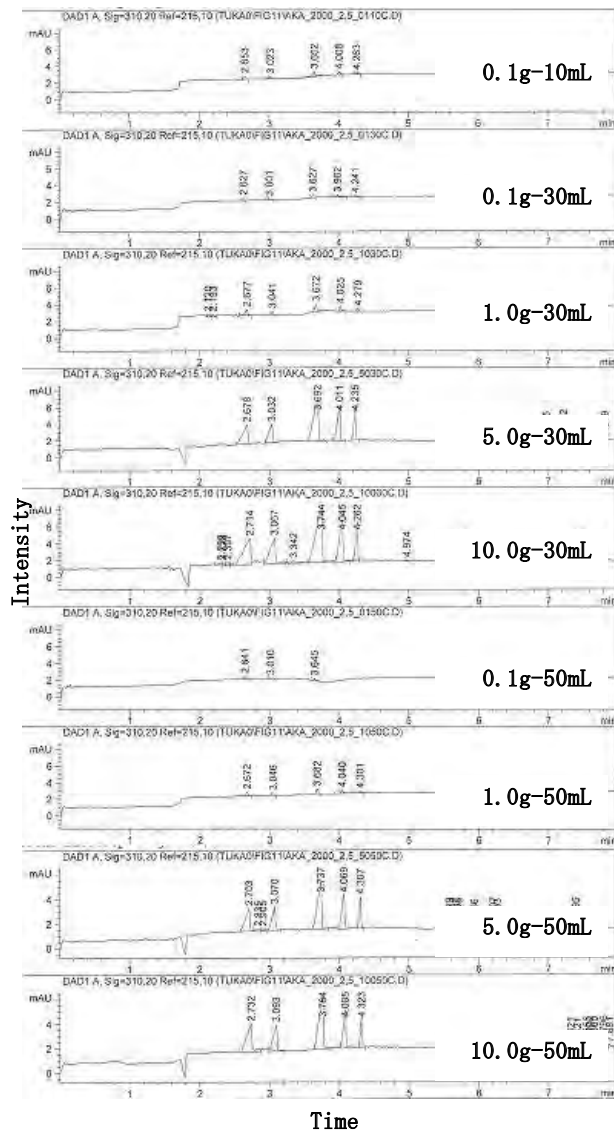


図5 陽イオン標準液（濃度：2000 mg/L）の測定結果

標準液において5種類の含有イオン(Br^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , F^-)が全て検出可能であった。この混合量において、濃度が500 mg/Lの標準液においても同様に分析を行った。

濃度500 mg/Lのイオン標準液の分析結果を表11に示す。

表11 濃度500 mg/Lの陰イオン標準液分析結果

標準液の濃度	500 mg/L	
土/超純水の量	30 mL	50 mL
5.0 g	×	×
10.0 g	×	×

表11から、濃度500 mg/Lの標準液においては5種類の含有イオンを全て検出することはできなかった。よって、CEは濃度1000 mg/L以上の陰イオンにおいて検出が可能であった。

(b) 赤玉土以外の土での分析

赤玉土の分析結果から、他の種類の土について、濃度 1000 mg/L のイオン含有土壌 5.0 g または 10.0 g を超純水 30 mL に混合させて同様に分析を行った。分析結果を表 12 に示す。

表 12 赤玉土以外の土での陰イオン分析結果

	鹿沼土	お台場 海浜公園	葛西 臨海公園	江戸川	荒川	多摩川	鶴見川
標準液の濃度	1000 mg/L						
土/超純水の量	30 mL						
5.0 g	○	○	○	○	○	○	○
10.0 g	○	○	○	○	○	○	○

表 12 から、他の種類の土についても赤玉土での最適混合量で陰イオンの検出が可能であった。

よって、現場での土壌の採取量が少ない場合も考慮し、CE 分析における土壌の最適量を少量の 5.0 g とした。最適混合量は、陽イオン、陰イオンともに土壌 5.0 g を超純水 30 mL に混合させた時であった。また、CE のイオン検出は陽イオンではイオン濃度 100 mg/L 以上、陰イオンではイオン濃度 1000 mg/L 以上を土に含有させた場合において検出可能であった。陽イオンと陰イオンの検出限界には約 10 倍の濃度差があるが、CE 分析時に測定する陽イオン標準液と陰イオン標準液の間にも約 10 倍の濃度差があることから、CE は陰イオンよりも陽イオンの方が検出感度が高いといえる。

(2) イオン濃度に対するピーク強度

CE におけるイオン検出量を調べるため、土に含ませた陽イオン及び陰イオン標準液の濃度とピーク強度の関係を調べた。土壌は関東地方において代表的な土壌である赤玉土及び鹿沼土について調べた。いずれの土壌も前(1)から得られた最適混合量で攪拌し、測定を行った。

a 陽イオン

濃度 100 mg/L、1000 mg/L、2000 mg/L のイオン含有土壌について分析した。5 種類の各イオンについて、土壌の含有濃度に対する CE ピーク強度を調べた。

(a) 赤玉土での分析

赤玉土での各陽イオン濃度に対する CE ピーク強度を図 6 に示す。

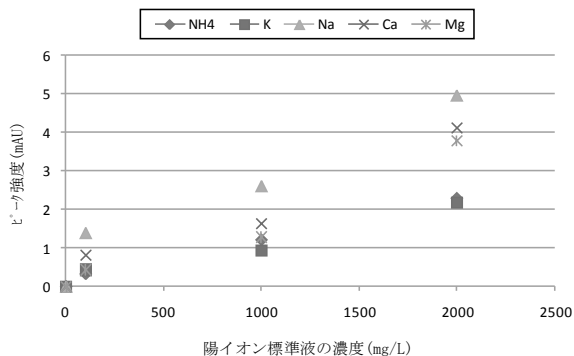


図 6 赤玉土での各陽イオン濃度に対する CE ピーク強度

(b) 鹿沼土での分析

鹿沼土での各陽イオン濃度に対する CE ピーク強度を図 7 に示す。

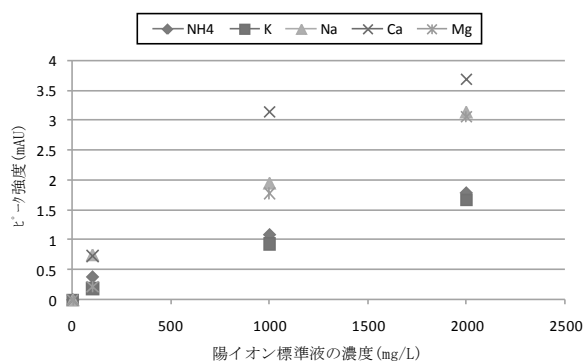


図 7 鹿沼土での各陽イオン濃度に対する CE ピーク強度

b 陰イオン

濃度 1000 mg/L、1500 mg/L、2000 mg/L のイオン含有土壌について分析した。5 種類の各イオンについて、土壌の含有濃度に対する CE ピーク強度を調べた。

(a) 赤玉土での分析

赤玉土での各陰イオン濃度に対する CE ピーク強度を図 8 に示す。

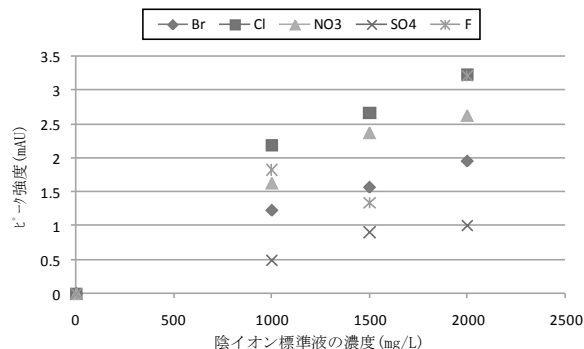


図 8 赤玉土での各陰イオン濃度に対する CE ピーク強度

(b) 鹿沼土での分析

鹿沼土での各陰イオン濃度に対する CE ピーク強度を図 9 に示す。

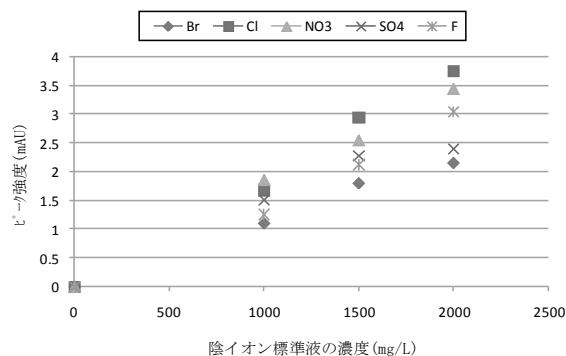


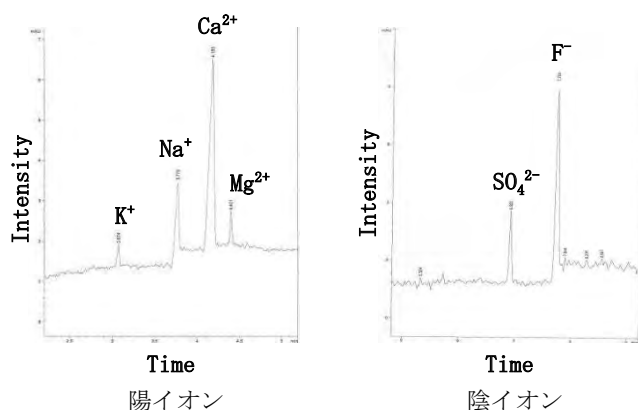
図 9 鹿沼土での各陰イオン濃度に対する CE ピーク強度

以上のように、各イオン濃度に対する CE ピーク強度をグラフ化し検量線を作成することにより、CE におけるイオン検出量がわかるようになる。

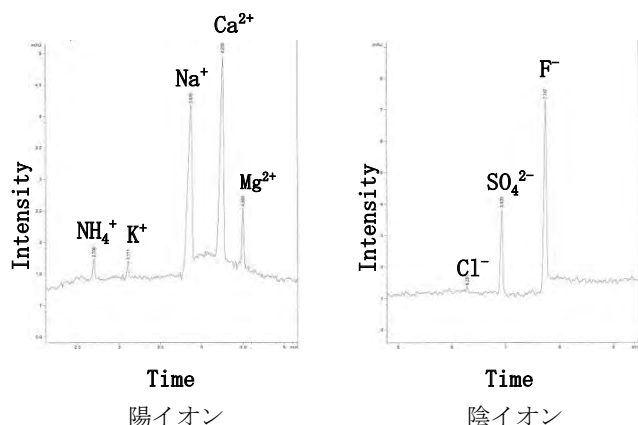
(3) 漏洩事故等の現場で採取した土壌の測定事例

本検証で得られた最適条件下において、実際に危険物流出事故等が発生したタンクや金属配管周辺の土壌の分析を行った。以下に、事例①～③の陽イオン及び陰イオンの測定結果をそれぞれ示す。

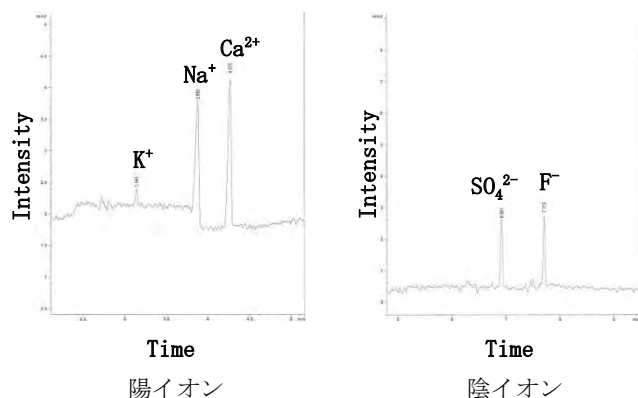
① 地下埋設配管からの重油漏洩現場



② 地下埋設配管からのガソリン漏洩現場



③ 使用廃止した専用タンク掘り起こし現場



本検証で得られた最適条件下において、実際の現場の土壌から配管等の腐食原因であると考えられる Cl^- や SO_4^{2-} のイオンが検出された。

6 おわりに

- (1) 周辺土壌に含まれるイオンを分析する際の土壌の最適な前処理条件を確立した。土壌と溶媒の攪拌方法として、スターラー及び超音波洗浄器による攪拌を検討したが、測定結果に大きな違いがなかったことから、より簡便な方法である超音波洗浄器により攪拌を行うこととした。
- (2) 周辺土壌に含まれるイオンを分析する際には攪拌時における土壌と溶媒（超純水）の混合量が重要であった。本検証から、最適混合量は陽イオン、陰イオンともに土壌 5.0 g を超純水 30 mL に混合させた時であり、陽イオンはイオン濃度 100 mg/L 以上、陰イオンはイオン濃度 1000 mg/L 以上において検出可能であった。
- (3) 本検証で得られた知見により、実際に現場から採取した土を分析した結果、使用廃止した専用タンク掘り起こし現場や地下埋設配管からのガソリン漏洩現場の土から配管等の腐食の原因であると考えられる Cl^- や SO_4^{2-} のイオンが検出できた。
- (4) 危険物流出事故に伴う分析として、ガスクロマトグラフ質量分析計にて土壌に含まれる油分の成分分析、蛍光 X 線にて土壌に含まれる元素の分析を行っているが、本検証により新たに土壌に含まれるイオンの分析を行うことが可能となった。
- (5) 今後は現場において、漏洩箇所の土及びバックグラウンドとして同一敷地内の漏洩箇所から離れた土を複数採取し、イオン分析することとする。

[参考文献]

- 1) JIS ハンドブック 53 環境測定 II 水質
- 2) 水面上に漂う微量油分の分析方法に関する検証 平成 22 年度検証課題 水田亮