

# 微量元素分析による証拠物件の異同識別

鈴木 康弘

## 1 はじめに

犯罪現場で犯人の遺留品と思われる物質が発見されると、それは証拠物件として実験室に持ち込まれ、捜査に役立つ情報を得るために科学的な検査が行われる。このような検査の目的は、同定と異同識別に大きく分類される<sup>1)~3)</sup>。同定とは、試料の組成を明らかにする、あるいは試料中に特定の物質が含有されるか否かを判断する検査である。火災現場で採取された燃焼残渣物からの燃焼促進剤検出等がこれに該当する。本来ならば検出される可能性が低い場所からガソリンや灯油の留分が検出されれば、放火の可能性が示唆される<sup>4)</sup>。異同識別とは、犯罪現場（あるいは被疑者の周辺）で採取された由来の不明な試料（＝被疑試料）を被疑者の周辺（あるいは犯罪現場）で採取された由来の明らかな試料（＝対照試料）と比較して、両者が同じ起源から発生したものか、異なるものかを判定する検査である。典型的な例としては、ひき逃げ事件の現場に遺留された塗膜片と被疑車両から採取した塗膜片の比較が挙げられる。二つの塗膜片に偶然の一致と思えない著しい類似性が認められれば、被疑車両と事故現場の関連を裏付ける重要な証拠となる<sup>5)~7)</sup>。

異同識別における考え方を図1に示す。後に説明する誤判定のリスクを低減する必要性から、異同識別目的の検査は一般的に独立した複数の検査を組み合わせて実施される。被疑試料と対照試料の両方に一連の検査を順次適用し、いずれかの検査で二つの試料が異なる結果を示せば、両者は異なると判定される。すべての検査を通して両者の結果に有意差が認められなければ、両者は「同種」あるいは「類似する」と判定される<sup>1)</sup>。ただし、この「同種」や「類似する」がどの程度の近さを意味するかの解釈は、試料や適用した検査の種類にも左右される非常に複雑で難しい問題と心得て頂きたい。

試料に含まれる元素の種類と濃度の比較は、このような異同識別に汎用される検査方法の一つである。特に工業製品から生じた微細な証拠物件の異同識別において、品質管理の対象とならないレベルで含有される微量元素

Discrimination of Physical Evidence by the Analysis of Trace Elements.

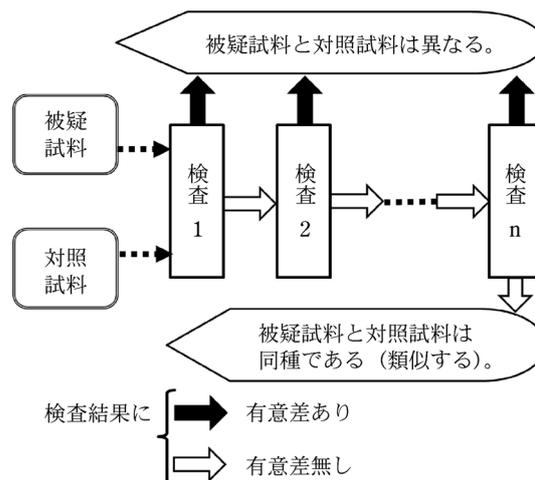


図1 異同識別検査の考え方

のパターンは、主成分元素と比較して製造会社や工場、製造ロット等の違いを反映する可能性が高く、様々な種類の証拠物件に対する数多くの応用例が報告されている。

本稿の執筆に先立ち、「ぶんせき」誌にこれまで掲載された記事の題目を2000年1号まで遡って調査した。証拠物件を対象とした鑑識関係の報告は、「進歩総説」に限定すれば2004年4号以来となる<sup>8)</sup>。進歩総説以外の記事としては、2014年1~4号の「講座」<sup>2)9)~11)</sup>等が存在する。いずれにしても、「証拠物件」及び「微量元素」という二つの切り口による総説は、今回が初めての試みと思われる。そこで本進歩総説では調査対象を直近の10年（2009年～現在）まで拡大し、微量元素分析を証拠物件の異同識別に応用した研究例を試料別に解説する。本テーマに関連のある重要な文献は、さらに遡って紹介する。

## 2 元素分析による異同識別の流れと検査法の評価

（微量）元素分析による異同識別では、実際の証拠物件に応用する前の研究段階でその有効性を確認しておく必要がある。具体的に言えば、同種あるいは異なること（＝異同識別の正解）があらかじめ判明している試料を分析して、同種の試料では同等の、異なる試料では異なる

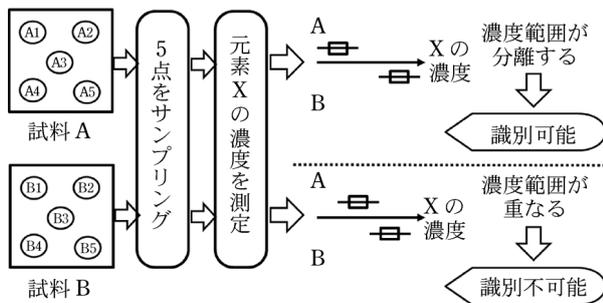


図2 元素分析による異同識別の可否

る分析結果が得られるかということである。この点を最もシンプルな系（2点の試料を1元素の分析で比較）で説明する。異なる試料AとBに含まれる元素Xの濃度を測定して、濃度の比較がAとBの異同識別に有効か否かという問題を考える（図2）。AとBの一部を互いに離れた部位から数点（図2では5点）採取して、それぞれに含まれるXの濃度を測定する。得られた5×2点のデータから、AとBに含まれるXの濃度の代表値と信頼区間（平均値±標準偏差の整数倍等）を計算する。この範囲が分離していれば、AとBはXの濃度の比較で異同識別可能、オーバーラップしていれば不可能と判断する。

異同識別検査の結末は、表1に示す4パターンのいずれかに帰着する。起源が同じ試料を同種、異なる試料を異なると正しく判定できれば、それぞれ真犯人の検挙や犯人でない無罪の人間の釈放という形で捜査に貢献する。逆に、同じ試料を異なる（False Negative, Type I Error）、あるいは異なる試料を同種（False Positive, Type II Error）と誤判定してしまうと、真犯人を市中に解き放つ、あるいは無罪の人間の誤認逮捕という悲惨な結果を招く。Type I Errorは被疑者の関与を示唆する他の証拠（指紋やヒトDNA等）があればカバーできる余地があるので、誤判定のうちでもType II Errorのリスクを抑制することがより重要とされている<sup>12)</sup>。元素分析による異同識別では、測定・比較する元素の数を増やすことが、Type II Errorのリスクを低減する有力な手段となる。異同識別に複数元素を用いる場合の考え方は、図1の「検査n」を「元素n」と置き換えると理解しやすい。比較する元素の濃度を独立変数と見なせる条件下では、元素の数が多いほど異なる試料の検査結果が偶然一致する確率は低くなる。最終的には、製造会社やブランド等が異なる試料を可能な限り数多く収集して分析し、元素分析による異同識別検査の正答率が実用に耐えるレベルであることを確認する。一例として異なる試料10点を集めた場合、収集した試料から2点を選んで比較する組み合わせの数は ${}_{10}C_2=45$ 通り存在する。45通りの組み合わせのうち40通りが異同識別可能であれば、異同識別能力（Discrimination Power, DP）は $40 \div 45 \times 100 = \text{約} 89\%$ となる。同じ試料の離れた部位か

表1 異同識別検査における4通りの結末

被疑試料と対照試料の異同		検査結果の正誤（結末）
事実	検査結果	
同種	同種	正（真犯人の逮捕）
同種	異なる	誤（真犯人の釈放）
異なる	同種	誤（誤認逮捕）
異なる	異なる	正（犯人でない人物の釈放）

ら採取した複数の断片や、製造ロットが同じ試料を分析して同様に計算すれば、同種の試料に対する正答率も計算できる。こうして求めた正答率が100%に近いほど、誤判定のリスクが低い優れた方法と評価される。

### 3 各種の証拠物件に対する応用例

#### 3.1 ガラス

建物や自動車の窓ガラスを破壊して現金や貴重品が窃取された事件では、被疑者の衣類や現場からの逃走に使用した車中からガラス片を見つけ出して、破壊された窓ガラスとの異同識別が行なわれる。ひき逃げ事件の現場に遺留されていた自動車の窓ガラスやドアミラーの一部と思われる破片は、被疑車両から採取した対照ガラスとの異同識別に利用される。ガラス製のびんが凶器に使用された殺人・傷害事件では、被害者に付着していたガラス片と現場に散乱していたガラス片の比較から、犯行現場や使用された凶器の特定に関する情報が得られる。このようなガラス片の異同識別では、最初に外観的特徴（厚さ、色調、表面形態等）の観察と屈折率の測定で異なる試料をさらなる検査対象から除去した後に、差異が認められなかった試料のみ元素分析を行い、最終的な結論を導く<sup>2)3)</sup>。

ガラスは、微量元素分析による異同識別の研究が最も早い時期から開始された証拠物件の一つと言える。1990年代の初めには既に、屈折率の測定にXRFやICP-AESによる元素分析を組み合わせるとDPが向上することが明らかにされている<sup>13)</sup>。1990年代から2000年代にかけては分析装置がより高感度のICP-MSにとって代わり<sup>14)</sup>、測定元素の対象がこれまでよりも濃度の低い元素にまで拡大された。ICP-AESやICP-MSによる分析では、数mgのガラス片を酸に溶解して均一な溶液にして装置に導入する時間と手間を要する手法が主流であった。これに対して2000年以後はLaser Ablation (LA)-ICP-MSやSynchrotron Radiation (SR)-XRFを利用して微細ガラス片を固体のまま直接分析する研究が進展し、溶液化が不要になると同時に検査で消費されるガラス片の量が数百 $\mu\text{g}$ にまで低減されている<sup>15)16)</sup>。LA-ICP-MSによる証拠物としてのガラス分析は、American Society for Testing and Materials (ASTM)規格に標準的検査法が定められるに至り<sup>17)</sup>、分析法としては既に完成の域に近づきつつある。ただ

し、試料全体に比して測定に使用される量が相対的に少なくなったことにより、mg レベルのガラスを溶液化する方法では問題とされなかった不均一性が確認されるといふ副作用も生じている<sup>18)</sup>。数百  $\mu\text{m}$  の微小領域を分析する方法では、このような不均一性に由来する分析値の差異が Type I Error 原因とならないよう、データの解釈には細心の注意を要する。

微量元素分析によるガラスの異同識別では、近年では分析法そのものの開発に代わって判定基準の最適化<sup>19)~22)</sup>、異なる研究室や装置で同じ試料を分析して結果を比較する inter-laboratory test を通した cross-validation<sup>23)~26)</sup> が主要な研究テーマとなっている。証拠物として研究所に送られた 209 点のガラスを用いた研究では、ICP-AES で 10 元素 (Na, Mg, Al, Ca, Ti, Fe, Mn, Sr, Zr, Ba) を定量して得られた data set に最適化した判定基準を適用し、Type II error の発生率を 0.009 % まで低減することに成功している<sup>19)</sup>。ただし、Type I error の発生率と Type II error の発生率はトレードオフの関係にある。図 2 をみれば明らかなように、信頼区間を長く設定するほど Type I error の発生率は低下 (Type II error の発生率は上昇) し、逆に短くするほど Type I error の発生率は上昇する。このような観点に立ち、証拠物ではなく世界中のガラスメーカーや工場から集めた 62 点のフロートガラスと、1 枚のフロートガラス中の異なる 33 箇所から採取した破片を用いた研究では、ICP-MS で分析した 18 元素 (Li, Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Rb, Sr, Zr, Ba, La, Ce, Nd, Hf, Pb) の濃度を比較して、Type I と II の両方の error を適度に抑える判定基準を模索している<sup>20)</sup>。欧、米、豪の 8 研究所が組織する NITE-CRIME (Natural Isotope and Trace Elements in Criminalistics and Environmental Forensics) の European Network は、LA-ICP-MS を用いた 4 度にわたる inter-laboratory test を通じて、広く用いられている NIST SRM61X シリーズに代わる新たな標準ガラス (FGS1, 2) を開発し、これを Calibration Standard に使用することで研究所間の測定値のばらつきを改善している<sup>23)</sup>。

### 3.2 金属

手製の爆発物や時限発火装置等が使用された事件で、装置の作製に使用されたハンダや銅線が犯行現場で回収されると、被疑者の所有物との異同識別が求められる。

ハンダの主成分と微量元素を ICP-AES や ICP-MS で定量し、分析結果の比較による異同識別が試みられている<sup>27)28)</sup>。ICP-MS を使用した研究では、製造会社が異なる 8 種類のハンダから金属部分 10 mg を切り出して硝酸と塩酸で溶解した後に 50 mL に希釈し、Rh を内標準に用いてこの溶液に含まれる主成分 (Pb, Sn) と微量元素 (Ni, Cu, Sb, Bi) を定量している。試料溶液と

マトリックスを揃えるように標準物質 (NIST 1131) をハンダ試料と同様に溶解した溶液を検量線に用い、別の標準物質 (NIST 2416) を日間変動確認用の quality control 用に分析した結果、測定値と保証値は良好に一致した。装置の作製に使用されたハンダは、こてで溶融されているのに対し、被疑者から押収したハンダは溶融される前の状態にある。そこで、同じ試料の分析結果をこてによる溶融の前後で比較したところ、芯に松やにを含有するタイプのハンダでは、こての主成分である Cu による汚染が発生した。ハンダの長さ方向に沿って異なる部位から採取した試料の分析では、最大 36 cm 離れた場所でも微量元素の濃度は一定であった。Cu 以外の 5 元素の濃度を比較すれば、溶融の前後にかかわらず 8 種類のハンダの正確な異同識別が可能であった。

銅線に関しても同様に、微量元素を ICP-MS で分析した結果の比較が異同識別に有効であると報告されている<sup>29)</sup>。0.1~0.6 g の銅線を硝酸に溶解して、最終的にマトリックスとして 1000 ppm の Cu, 10 ppb の内標準 5 元素 (Li, In, Tl, Sc, Y) 及び 5 % の硝酸を含有する試料溶液を調製し、この溶液に含まれる 8 種類の微量元素 (Ag, Sb, Pb, Bi, Ni, As, Se, Co) を NIST 等から入手した標準物質とともに定量している。連続した 70 フィートの銅線から 5 フィートにつき 1 点の試料を採取して分析し、この結果を基に同じ 1 本の銅線における微量元素の変動を見積もった。同じラインで連続的に生産される銅線から 30 ロッドごとに 1 点の試料を 12 日間にわたって合計 93 点採取し、これを異なる試料と見なして微量元素の濃度による異同識別を試みた結果、異同識別能力は 90 % 程度の値を示した。

金属製の証拠物に対する他の応用例としては、製造会社 3 社から製造方法が異なる 7 種類の調理用ナイフを入手して、ICP-AES で分析した研究<sup>30)</sup>、自動車のアルミホイール片 (ひき逃げ事件や接触事故の現場で道路の縁石に付着していることがある) を SR-XRF で非破壊分析して異同識別した例などが報告されている<sup>31)</sup>。

### 3.3 粘着テープ

粘着テープは 3.2 で解説した手製爆発物の作製や不法薬物の梱包に加えて、侵入窃盗や誘拐事件で被害者の拘束に使用されることがある。犯罪に使用された粘着テープが被疑者の所持品と類似することを示せば、被疑者が犯罪に関与したことを示唆する有力な証拠となる。粘着テープのようなプラスチック製品の異同識別は、顕微鏡による色調や形態観察に FT-IR や熱分解 GC-MS による有機物の分析を組み合わせられており、元素分析は SEM-EDS による添加された無機元素の分析に限られていた<sup>32)~34)</sup>。

このような状況の中、Almirall をリーダーとするフロリダ大学の研究グループは粘着テープの元素分析に

LA-ICP-MS や Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) を応用して成果を上げている<sup>35)~38)</sup>。黒色の電気用絶縁テープ 90 点を LA-ICP-MS で分析して異同識別を試みたところ、正答率は異なる試料から採取した破片で 94 %、同じ試料では 100 % で、LA-ICP-MS による元素分析のみで 3 種類の装置を組み合わせた従来法に匹敵する結果を出している<sup>35)</sup>。別の研究では、アジアで製造された 8 種類の異なる荷造り用テープ（製造国が 2 種類、製造会社が 6 種類）を LIBS と LA-ICP-MS で分析し、両者による結果を比較している<sup>36)</sup>。検出可能な元素の数では、LIBS（7 元素）は LA-ICP-MS（11 元素）に若干劣るものの、LA-ICP-MS があまり得意としない Li や K などの測定に適していた。異同識別能力では、LA-ICP-MS は 8 種類すべてが識別可能、LIBS は 1 組のみ識別不可能というレベルで、LIBS は LA-ICP-MS の代替手法に十分なり得ると結論している。

### 3.4 その他

犯罪は発生する場所を選ばないが故に、証拠物件の分析では日常的な生活空間に存在するあらゆる製品が検査対象になり得る。本稿の 3.1~3.3 のいずれにも分類されない試料に微量成分元素の分析による異同識別を試みた研究例を表 2 に整理したので、参考にして頂きたい。

## 4 まとめと今後の展開

微量元素分析による証拠物件の異同識別は、「分析」と「データの解釈」という二つの要素で構成される。本稿の最後では、それぞれの領域におけるこれまでの進歩や今後の展開を総括したい。

証拠物の検査では、現場で採取された限られた量の試料を用いて、可能な限り多くの元素を迅速に分析することが求められる。試料を溶液化する従来の分析法では、天秤による正確な重量測定と試料の分解に要する時間がネックになっていた。LA-ICP-MS や SR-XRF による固体試料直接分析は、これらの問題に対する有力な解決策として急速にその応用範囲を拡大している。しかし、表 2 に示すように証拠物件の種類は極めて多岐にわたり、現在もなお湿式分析が採用されている試料も少なくない。標準物質の開発や共同試験による分析条件の最適化を通して、このような試料の固体試料直接分析を可能にしていくことが、今後の研究課題の一つと予想する。

元素分析による正確な異同識別判定には、市場に流通している市販品のデータを用いた裏付けが必要不可欠である。このようなデータの構築は、1990 年代に行われたガラスに対する初期の研究では、実際の事件で証拠物として収集されたガラス片を分析して行われていた。現在ではガラスに限らずあらゆる種類の試料で、製造国やメーカー、製造時期やロットが明らかな試料を用いた研

表 2 元素分析を利用した証拠物件の異同識別研究例

試料	分析手法	測定対象元素	文献
土壌、鉱物等	LIBS	Li, Mg, Ca, Ti, Fe, Sr, Ba	39)
"	SR-XRF	Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Gd, Dy, Er, Yb, Hf, W	40)
"	SR-XRF	Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Gd, Dy, Er, Yb, Hf, Ta, W	41)
"	PIXE	F, Na, Al, K, Ti, Mn, Fe, Cr, Ni, Cu, Zn	42)
紙とインク	LA-ICP-MS LIBS	Na, Mg, Al, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Zr, Ba, Pb	43)
爆薬 (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	ICP-AES (LA-)ICP-MS Isotope Ratio Mass Spectrometry (IRMS)	Li, B, Mg, K, Ca, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Ba, La, Ce, Nd, Pb, Th, U	44)
乱用薬物	GF-AAS	Mg, Cr, Ni, Cu, Ba, Pb	45)
潤滑油	ICP-AES	Na, Mg, Al, P, Ca, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Mo, Ag, Ba, Pb	46)
たばこ吸殻	ICP-MS	Cu, Zn, Rb, Sr, Mo, Cd, Ba, La, Ce, Nd, Pb	47)
木炭灰	ICP-MS	Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Sr, Ba, La, Ce, Nd, Pb	48)
ビール	ICP-MS	V, Cr, Co, Ni, As, Se, Mo, Cd, In, Sb, Cs, Pb, Bi, U	49)
単繊維	LA-ICP-MS	Li, Mg, Al, Ca, Ti, Mn, Co, Cu, Zn, Ge, Sr, Nb, Sb, Ba	50)
ダイヤモンド	LA-ICP-MS	Li, Be, B, Na, Al, P, K, Sc, Ti, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Y, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Ba, La, W, Pb, Bi	51)

究が主流となりつつある。また、収集したデータが有効であるには、実際の証拠物の分析に用いる装置や測定条件でデータの収集に用いたシステムと同等の結果を出せることが前提となる。この目的に向けて、犯罪捜査に従事する世界各国の研究所が地域ごとの国際ネットワーク {欧州の ENFSI (European Network of Forensic Science Institutes) やアジアの AFSN (Asian Forensic Sciences Network) 等} を構成し、微量元素分析に限らず様々な分野で標準的検査法の開発を推進している。日本の警察の研究所は(少なくとも本稿を執筆している時点では)、あいにくこのネットワークにも参加できていない。それでも、次々に開発・更新されていく標準的検査法の情報を常にキャッチアップし、日常的に用いられる検査手法を国際的に通用する水準に維持していくよう努めねばならないであろう。

本稿を執筆するにあたり、文献の選定と収集に御協力頂いたドイツ連邦警察法科学研究所の Stefan Becker 博士に感謝の意を表する。

文 献

- 1) R. Saferstein : “*Criminalistics, An Introduction To Forensic Science*” Eighth Edition, p. 63 (2004), (Prentice-Hall, New Jersey).
- 2) 鈴木康弘 : “捜査のための法科学”, 第二部 (法工学, 法化学), 高取健彦編, p. 337 (2005), (令文社).
- 3) 鈴木康弘 : *ぶんせき*, **2014**, 63.
- 4) J. J. Lentini : “*Scientific Protocols for Fire Investigation*”, p. 137 (2006), (CRC Press, Boca Raton).
- 5) B. Caddy : “Forensic Examination of Glass and Paint”, p. 273 (2001), (Taylor & Francis, London).
- 6) A. L. Hobbs, J. R. Almirall : *Anal. Bioanal. Chem.*, **376**, 1265 (2003).
- 7) 石井健太郎, 竹川知宏, 大前義仁, 西脇芳典, 蒲生啓司 : 分析化学, **64**, 867 (2015).
- 8) 角田紀子, 瀬戸康雄 : *ぶんせき*, **2004**, 201.
- 9) 瀬戸康雄 : *ぶんせき*, **2014**, 18.
- 10) 岩田祐子 : *ぶんせき*, **2014**, 113.
- 11) 鈴木真一 : *ぶんせき*, **2014**, 161.
- 12) J. Robertson, M. Grieve : “*Forensic Examination of Fibres*” Second Edition, p.343 (1999), (CRC Press, Boca Raton).
- 13) R. D. Koons, C. A. Peters, P. S. Rebbert : *J. Anal. At. Spectrom.*, **6**, 451 (1991).
- 14) T. Parouchais, I. M. Warner, L. T. Palmer, H. Kobus : *J. Forensic Sci.*, **41**, 351 (1996).
- 15) T. Trejos, S. Montero, J. Almirall : *Anal. Bioanal. Chem.*, **376**, 1255 (2003).
- 16) 鈴木康弘, 笠松正昭, 杉田律子, 太田彦人, 鈴木真一, 丸茂義輝 : 分析化学, **56**, 1191 (2007).
- 17) ASTM E2927-16, “Standard Test Method of Trace Elements in Soda-Lime Glass Samples Using Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry for Forensic Comparisons”, (2017).
- 18) A. Heydon, D. Ruddell, A. Wolf, H. Dorn : *Forensic Chem.*, **11**, 103 (2018).
- 19) R. D. Koons, J. Buscaglia : *J. Forensic Sci.*, **47**, 505 (2002).
- 20) P. Weis, M. Dücking, P. Watzke, S. Menges, S. Becker : *J. Anal. At. Spectrom.*, **26**, 1273 (2011).
- 21) H. Dorn, D. Ruddell, A. Heydon, B. D. Burton : *Can. Soc. Forensic Sci. J.*, **48**, 85 (2015).
- 22) E. V. Es, W. Wiarda, M. Hordijk, I. Alberink, P. Vergeer : *Sci. Justice*, **57**, S. 181 (2017).
- 23) C. Latkoczy, S. Becker, M. Dücking, D. Günther, J. A. Hoogewerff, J. R. Almirall, J. Buscaglia, A. Dobney, R. D. Koons, S. Montero, G. J. Q. van der Peijl, W. Stoecklein, T. Trejos, J. R. Watling, V. S. Zdanowicz : *J. Forensic Sci.*, **50**, 1327 (2005).
- 24) T. Trejos, R. Koons, S. Becker, T. Berman, J. Buscaglia, M. Dücking, T. E. Lumsdon, T. Ernst, C. Hanlon, A. Heydon, K. Mooney, S. Ryland, A. Tarifa, M. Valadez, P. Weis, J. Almirall : *Anal. Bioanal. Chem.*, **405**, 5393 (2013).
- 25) T. Trejos, R. D. Koons, P. Weis, S. Becker, T. Berman, C. Dalpe, et al. : *J. Anal. At. Spectrom.*, **28**, 1270 (2013).
- 26) T. Hoffman, R. Corzo, P. Weis, E. Pollock, A. van Es, W. Wiarda, A. Stryjnik, H. Dorn, A. Heydon, E. Hoise, S. L. Franc, X. Huifangg, B. Pena, T. Scholz, J. Gonzalez, J. Almirall : *Forensic Chem.*, **11**, 65 (2018).
- 27) Y. Suzuki, M. Kasamatsu, S. Suzuki and Y. Marumo : *Anal. Sci.*, **16**, 1195 (2003).
- 28) L. B. Huang, D. Beauchemin, C. Dalpe : *J. Anal. At. Spectrom.*, **33**, 1784 (2018).
- 29) J. R. Dettman, A. A. Cassabaum, C. P. Saunders, D. L. Snyder, J. Buscaglia : *Anal. Chem.*, **86**, 8176 (2014).
- 30) R. Bai, S. Ma, H. Zhang, L. Chang, Z. Zhang, L. Liu, F. Zhang, Z. Guo, M. Shi : *Int. J. Legal Med.*, **128**, 353 (2014).
- 31) 竹川知宏, 石井健太郎, 西脇芳典, 蒲生啓司 : 分析化学, **64**, 625 (2015).
- 32) A. H. Mehlretter, M. J. Bradley, D. M. Wright : *J. Forensic Sci.*, **56**, 82 (2011).
- 33) A. H. Mehlretter, M. J. Bradley, D. M. Wright : *J. Forensic Sci.*, **56**, 1493 (2011).
- 34) I. V. Goodpaster, A. B. Sturdevant, K. L. Andrews, E. M. BriLey, L. Brun-Conti : *J. Forensic Sci.*, **54**, 328 (2009).
- 35) C. M. Lopez, T. Trejos, A. H. Mehlretter, J. R. Almirall : *Forensic Chem.*, **4**, 96 (2017).
- 36) C. M. Lopez, M. Sakayanagi, J. R. Almirall : *Forensic Chem.*, **8**, 40 (2018).
- 37) F. Kuczelinis, P. Weis, N. H. Bings : *Forensic Chem.*, **12**, 33 (2019).
- 38) C. M. Lopez, T. Trejos, S. Coulson, J. Goodpastor, K. Igowski, F. Kuczelinis, A. Mehlretter, E. Pollock, U. Simmross, R. Weimer, P. Weis, J. R. Almirall : *Forensic Chem.*, **12**, 66 (2019).
- 39) B. Woods, K. P. Kirkbride, C. Lennard, J. Robertson : *Forensic Sci. Int.*, **245**, 95 (2014).
- 40) 前田一誠, 古谷俊輔, 黄 嵩凱, 阿部善也, 大坂恵一, 伊藤真義, 二宮利男, 中井 泉 : 分析化学, **63**, 171 (2014).
- 41) W. S. K. Bong, I. Nakai, S. Furuya, H. Suzuki, Y. Abe, K. Osaka, T. Matsumoto, M. Itou, N. Imai, T. Ninomiya : *Forensic Sci. Int.*, **220**, 33 (2012).
- 42) M. J. Bailey, R. M. Morgan, P. Comini, S. Calusi, P. A. Bull : *Anal. Chem.*, **84**, 2260 (2012).
- 43) T. Trejos, A. Flores, J. R. Almirall : *Spectrochimica Acta Part B.*, **65**, 884 (2010).
- 44) H. Brust, M. Koeberg, A. van der Heijden, W. Wiarda, I. Muegler, M. Schrader, Marianne ; G. V. Truyols, P. Schoenmakers, A. van Asten : *Forensic Sci. Int.*, **248**, 101 (2015).
- 45) H. E. French, M. J. Went, S. J. Gibson, : *Forensic Sci. Int.*, **231**, 88 (2013).
- 46) Y. Kim, N. Y. Kim, S. Y. Park, D. Lee, J. H. Lee : *Forensic Sci. Int.*, **230**, 58 (2013).
- 47) 鈴木康弘, 鈴木真一 : 分析化学, **61**, 911 (2012).
- 48) 笠松正昭, 鈴木康弘 : 分析化学, **61**, 577 (2012).
- 49) N. Mahmood, N. Petraco, Y. He : *Anal. Bioanal. Chem.*, **402**, 861 (2012).
- 50) 廣間侑希, 保倉明子, 中井 泉 : 分析化学, **59**, 759 (2010).
- 51) C. Dalpe, P. Hudon, D. J. Ballantyne, D. Williams, D. Marcotte, : *J. Forensic Sci.*, **55**, 1443 (2010).



鈴木康弘 (Yasuhiro Suzuki)

科学警察研究所法科学第三部化学第三研究室 (〒277-0882 千葉県柏市柏の葉6-3-1)。東京理科大学大学院理学研究科修士課程 (化学専攻) 修了。工学博士 (名古屋大学)。《現在の研究テーマ》微量成分元素分析による微細証拠物件の異同識別法の開発。《主な著書》“捜査のための法科学” (分担執筆) (令文社)。《趣味》将棋 (三段), 落語鑑賞。  
E-mail : suzukiy@nrips.go.jp