

法科学における微細証拠物件の重要性

横浜薬科大学客員教授

鈴木 真一 *Shinichi Suzuki*

1. はじめに

現代の科学捜査では、客観的な物的証拠が不可欠であり、「証拠物件」、そのなかでも被疑者が無意識下に犯行現場に遺留したり、Edmond Locard が提唱した相互付着の原則¹⁾に基づいた被疑者・被害者間の接触の証明や被疑者と犯行現場との関連の証明のために微細な証拠物件 (trace physical evidence) の高い類似性の証明が特に重要になってきている。

微細証拠物件は広範囲にわたり、単繊維(糸を構成する衣類ならば直径が20 μm 以下の繊維片)、ガラス片、ゴム片その他の人工物にとどまらず花粉、植物片なども対象物件となる。これらの物件の持つ客観性は日々進歩している「確立した分析化学の技術」により「高度で、適切に校正されていることが保証されている分析機器」を用いて「専門的な分析に関する能力が第三者によって担保されている」分析の実施者により行われることにより得られると考えられる。最近の鑑定分野の変化、分析手法の高度化と多様化は著しく、常に適切な応用が可能となるような不断努力が求められている。

微細証拠物件科学は Criminalistics と呼ばれて法科学の一分野を占めているが、米国を例にとると、米国商務省(日本の経済産業省に相当)傘下の米国国立標準技術研究所(NIST)に属する法科学に対する科学分野の

委員会組織(OSAC)により標準化の検討が行われている。その位置づけは図1のようになる。図1にはいろいろな略語が出てくるので表1に正式名、日本語名をまとめて示す。

OSAC の FSSB は分野別の小委員会(SACs)による作業の指示と監督を行う。SACs は SC の作業を承認して FSSB に報告し、標準が複数の分野に影響を及ぼす場合には活動の調整を支援する、という極めて広範囲の法科学に関する分析手法などを包括的に検討、担保、情報発信を行っている。OSAC の公表する情報は国の機関である NIST に属することから、公定法に近い。

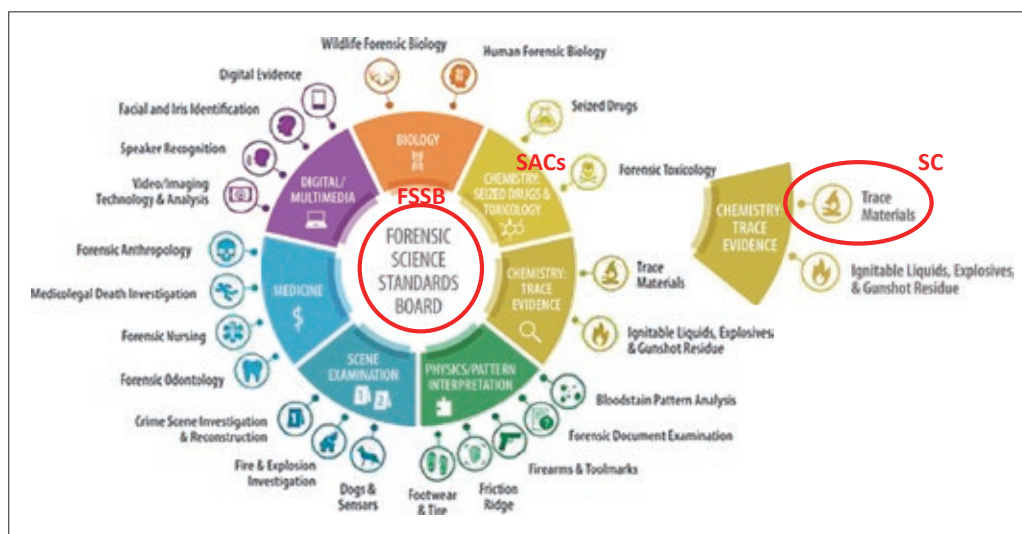
さらに、非営利団体である米国規格協会(ANSI、日本の JIS に相当)や世界最大の民間規格制定機関である米国試験材料協会(ASTM)が協業して法科学における標準化を検討し、公表している。毎月速報として更新されているので誰でも情報の入手が可能である²⁾。

このような、厳密で科学的合理性のある公表を行っているにも関わらず、本方法から乖離した方法で行われた検査が後を絶たないことや分析の方法論自体に問題があることを20年ほど前に成書³⁾により指摘されている。

しかし、現在でも依然として改善は難しいらしいことが直近の米国全国紙で以下のように触れられている。

'Betrayed': Forensic science failures undermine justice as labs fail to adopt standards: 「法科

図1 米国 NIST 傘下の法科学標準化組織 OSAC の構成

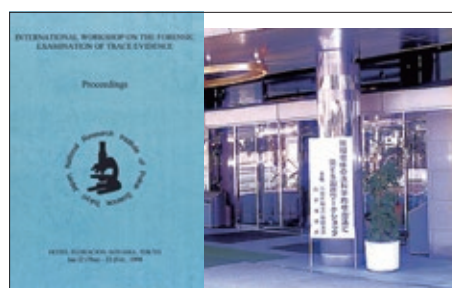


<https://www.nist.gov/organization-scientific-area-committees-forensic-science/osac-organizational-structure>

表1 略語表

略語	名称	日本語名
NIST	National Institute of Standard and Technology	国立標準技術研究所
OSAC	Organization of Scientific Area Committee for Forensic Science	NIST に属する法科学に対する科学分野の委員会組織
FSSB	Forensic Science Standard Board	法科学標準化委員会
SACs	Scientific Area Committees	科学分野委員会
SC	Discipline-specific sub-committees	専門分野別小委員会
	Chemistry: Trace Evidence	微細証拠物件
ANSI	American National Standards Institute	米国規格協会 日本の JIS 相当
ASTM	American Society for Testing and Materials	米国試験材料協会

図2 日本において初めて開催された微細証拠物件の法科学的検査法に関するワークショップ



国立科学警察研究所と科学技術庁（現文部科学省）主催 1998年

学の失敗が司法を弱体化、研究所が基準を採用せず」との記事⁴⁾が見られる。内容のなかで重要な部分を抜き出すと

「OSAC は、犯罪研究所の運営方法から科学者が法廷で証拠を説明する方法まで、あらゆることに関する何百もの基準を策定してきた。NIST の法科学基準プログラムマネージャーは、この基準策定には10年にわたり、24近くの分野から800人以上の専門家が協力した。しかし、法科学研究の大半は地方レベルで行われており、連邦政府に基準を課す権限はほぼ存在しない。基準の採用は完全に任意であり、最大規模の犯罪研究所423か所のうち、OSAC の基準の一部を導入している

と答えたのは半数に過ぎない」と記事は述べている。

このように、分析技術や分析機器というよりはむしろ統一された方法での検査が求められているのが実情ではあるが、研究施設の規模、人員、予算などの制約があるのは事実であり、わが国においても標準的分析法（Standard Operation Procedure、SOP）の作成は難しい課題である。以前、日本でもささやかながら9カ国から研究者を招き国際ワークショップを開催しているが、各国の大規模な取り組みとは比較にならない（図2）。

これらのことを踏まえたうえで、現状行われているいくつかの微細証拠物件分析につい

て概括する。

2. 微細証拠物件の分析

2.1 なぜ微細証拠物件なのか

前述したように、微細物件はそのままでは何の意味合いをもたないが、高度化した原理の異なる独立して正確性が担保されている分析手法を組み合わせた学際的な分析を行うことにより、分類、比較が可能となり最終的には個別化を目的とする。この結果に基づいて、犯行現場の再現、犯罪手法の推定、被害者・被疑者の接触などを証明していく過程が法科学と呼ばれる学問体系である。当然のことであるが、最終的な結論は可能であるならば統計学的に処理され、より客観性の高いものとなることが望ましい。結果の表現は微細ガラス片間の比較については尤度比を用いた同一性の表現の一例を示す。わが国においても種々の解釈があるため、翻訳すると誤解を生じるので、英文のままで表すと、「High degree of association」>「Association」>「Limited association」>「Inconclusive」>「Exclusion」となっている⁵⁾。

2.2 微細繊維片の分析

微細な繊維片は多くの犯罪の証明に用いられており、代表的な微細証拠物件のひとつであり、多くの成書が出版されている⁶⁾。微細繊維片の鑑定は、欧米においては100年以上前から行われており、欧州法科学研究所連合（European Network of Forensic Science Institutes、ENFSI）や米国では当初、司法省の連邦警察（Federal Bureau of Investigation、FBI）の中 の Technical Working Group for Fibers（TWGFIBE）により分析の品質管理システムの構築や研究所間の分析能力試験が行われていた。

しかし現在は、より広範囲の証拠物件につ

いて商務省傘下の NIST に属する OSAC が中心となってこの作業を行っている。

日本でも規模こそ比較にならないほど小規模であるが、標準的な推奨法を提示するまでに至っている⁷⁾。

内容を大別すると

1. 粘着テープによる適切な単繊維の採取法と保存
2. 形態の検査と表記法
3. 顕微分光光度計による色調の客観的評価
4. 顕微赤外分光光度法による構成成分の分析

以上の4点が Guideline として成文化されているが、他の検査手法を排除するものではない。そもそも Guideline はあくまで推奨であり、強制を伴う場合には欧州連合にみられるように「指令」という表現がとられる。

粘着テープの推奨理由は、ピンセットなどを用いたピッキング法による場合には識別の重要な要素のひとつである外観形態を破壊する可能性があるために粘着テープが推奨されているが、粘着性が強すぎれば、目的とする対象物以外の夾雑物も採取してしまう。ちなみに欧州においては、粘着度が検討され、適切な粘着力をもつ犯罪現場に特化した採取テープが市販されている。

また、採取された繊維は、被疑者・被害者間の接触の場合、接触後8時間程度の日常の行動で脱離してしまうことから、8時間以上経った衣類などから相当量の接触したと考えられる単繊維が見つかった場合には、試料の汚染を考えなければならない。

次の検査項目である形態の観察であるが、天然繊維の場合、それぞれに特徴的な外観があり、由来の推定は容易であるが、羊毛にしても種により微妙な差異がある場合に注意を要する。

以下に代表的な天然繊維（動物繊維・植物

繊維)の顕微鏡像(生物顕微鏡・電子顕微鏡)を示す(図3)。一見して、種間では大きな差異が認められるが、成書に記載されている繊維鑑定に関する項⁸⁾では、実に370ページのうち80ページをさいて表皮形状や、髄により細分化を行っている。例をあげれば、羊毛やカシミアに見られる鱗片上の組織(Scale)の幅から、smooth、crenate、rippled、dentateに分類され、その距離から distant、near、close にさらに表面のパターンから12種に分類している(Dr. Hans Brunner 分類)。

他の、植物繊維の代表である綿繊維の場合、リボン状の形態が特徴的であるが、衣料用に用いられる場合マーセル化(綿糸に絹のような光沢を与える加工)が施され、円形に近づけてある場合があるので、天然繊維の形態を観察する場合には、これらのことを留意しなければならない。

また、衣料用合成繊維として用いられるのはポリエステルがほとんどを占めていることから、ポリエステル間の識別が重要な要素となる。合成繊維は断面が円形のものが多いが、保温性や吸湿性といった特徴を出すために断面を複雑にしたり、中空の断面をもつ単繊維も認められる場合があり、このような場合は出現頻度が低いことから識別の対象としての価値が高くなる。ポリエステル異形断面糸の形態の例を図4に示す。

また、ポリエステルには、二酸化チタンが減光剤として添加される場合がほとんどであるから、その添加濃度、二酸化チタンの形状も検討の対象となる(図5、6)。

色調の評価は、破壊が許されるならば、抽出の後、薄層クロマトグラフィーやLC-MS/MSなどによる染料そのものの決定が可能であり確実であるが、分析対象となる単繊維が極めて微細であり、かつ非破壊検査が求められる場合がほとんどであることから顕微分光分析による色調の評価が諸外国のみならずわ

図3 衣料用に用いられる天然繊維(動物繊維、植物繊維)の生物・電子顕微鏡像

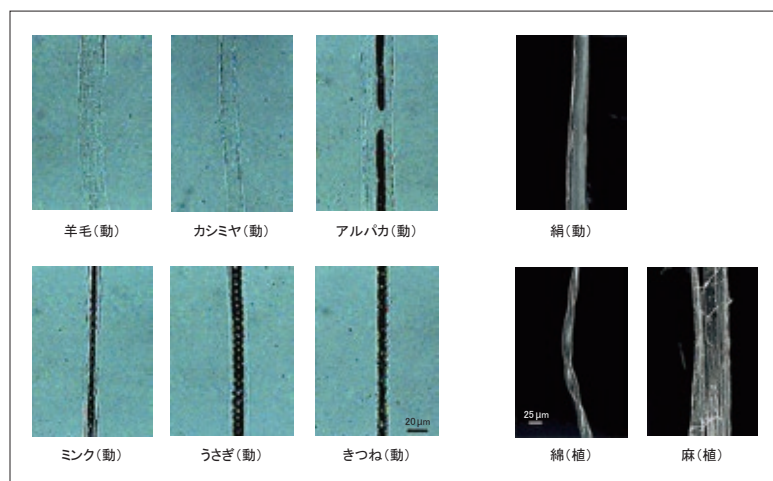


図4 異形断面を示すポリエステル単繊維(電子顕微鏡像)

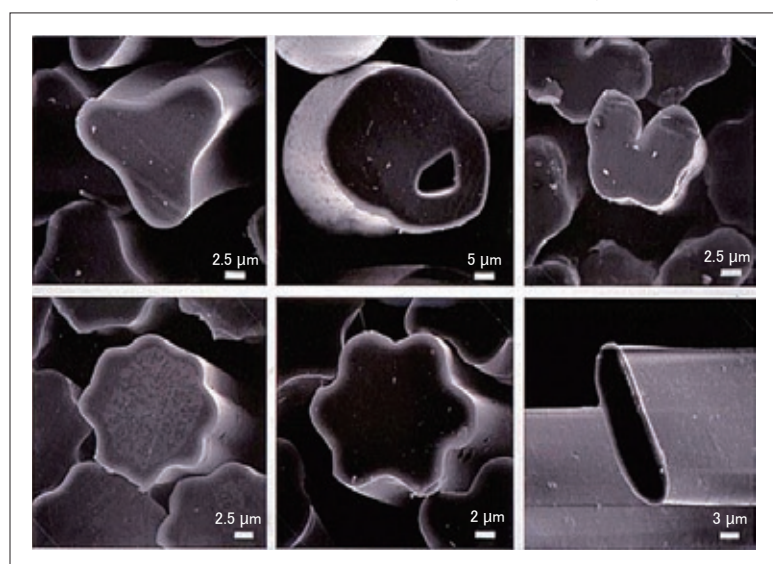
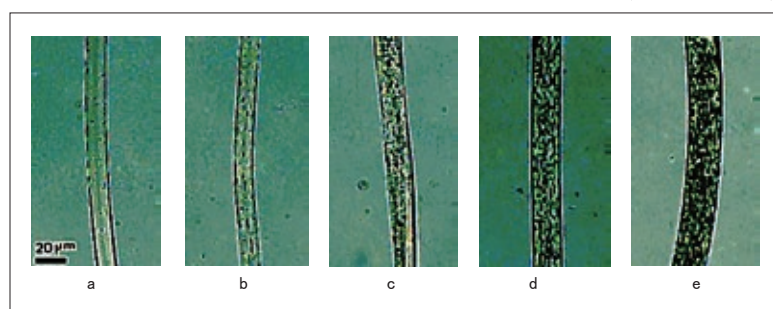


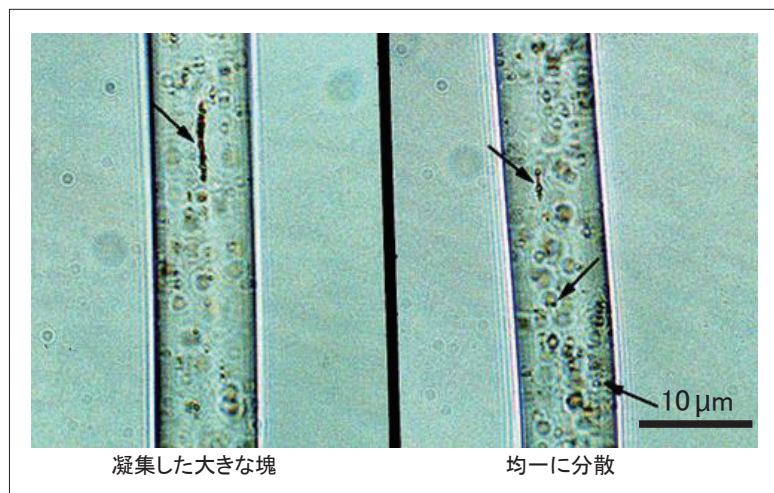
図5 ポリエステル単繊維への二酸化チタン添加濃度の差異(生物顕微鏡像)



a) 0.05%, b) 0.39%, c) 0.5%, d) 1.32%, e) 1.44%

が国においても広く行われている。この場合の透過光の分析範囲は240 nm から780 nm の紫外可視の測定が推奨されており、石英製のカバーガラスとスライドガラス、この範囲で吸収のないグリセリンが包埋液として用い

図6 ポリエステル単繊維へ添加される二酸化チタン形状の差異（生物顕微鏡像）
添加濃度は同一：0.02%



られる。顕微分光法は、染料を抽出して行う分析に比較して、より、微細な試料に応用が可能であるが、測定の前に硫酸マグネシウムを固めた板を用いてホワイトバランスを合わせる、暗電流（光が全くない場合のバックグラウンド）の測定など分析に入るまでに確認しなければならない事項が多い。

一例として木綿や羊毛、デニム地などに使用される建染染料の一種であるインジゴ誘導体の構造を図7に示す。図8に示すように、基本構造がインジゴであり、種々の置換基を導入した場合にも透過率スペクトルに大きな差異を生じることが理解できる。このように、色調の比較のみにより判別可能である。しかし、黒色の単繊維の場合、一例をあげれば合成繊維のほとんどを占めるポリエステル繊維を多くの場合、用いられる黒色の分散染料を用いて染色すると、黒色であることから、透過率ではなく、吸光度を指標として用いなければならない。さらに、ポリエステルは芳香環を有することから260 nm以下の領域は識別に用いることはできないが、他の領域でも識別は可能である。顕微分光吸光度スペクトルの例を示す（図9）。

顕微分光分析では色調を評価しているのであるから、染色が粗悪な場合には、測定位置

図7 綿などの染色に用いられるインジゴとその誘導体（建染染料）
C.I.: Chemical Index 染料の構造に割り振られる固有の番号

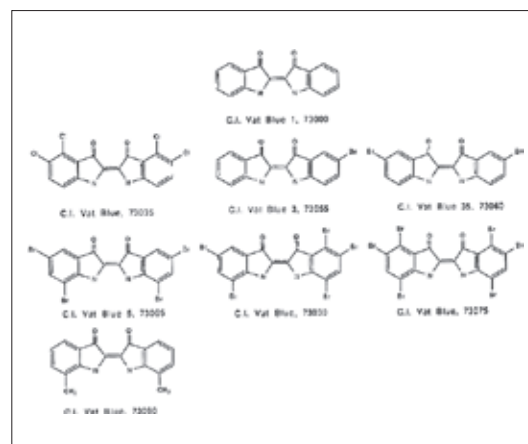


図8 インジゴとその誘導体の染料で染色された綿繊維の顕微分光スペクトル（透過率）の差異

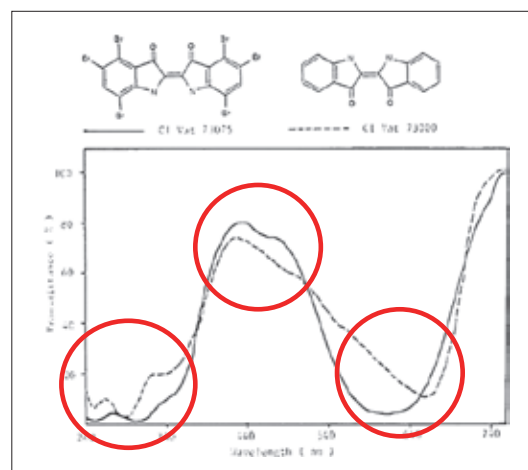
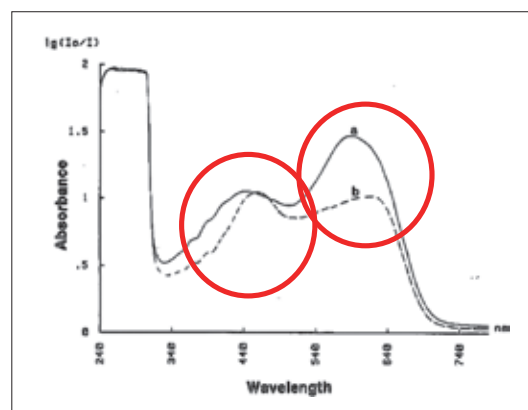


図9 異なる黒色分散染料で染色されたポリエステル単繊維の顕微分光スペクトル（吸光度）の差異



により透過光強度や吸光度に微妙な差異を生じる場合がある。さらに、数種の染料を混合した場合には、より複雑な差異を生じる場合

がある。この差異を打ち消すためには測定部位の数を増やし、統計的な処理を行うことにより、色調の代表的な透過度、吸光度スペクトルを得ることにより、差異を打ち消すことが行われている⁹⁾。

さらに構成成分の比較である。通常の顕微赤外分光装置を用いて測定を行うが、合成繊維、特にポリエステルの場合には熱履歴を赤外分光スペクトルが反映することから、注意を要する。

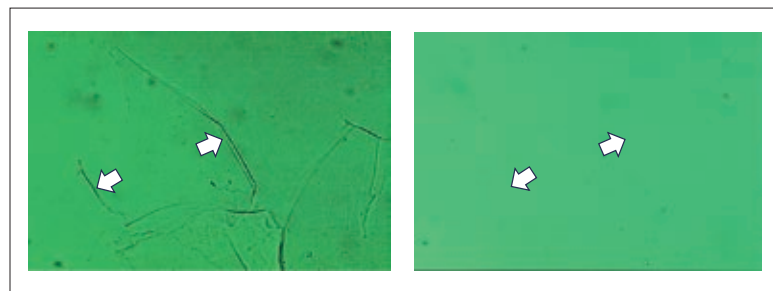
本誌214号で触れた危険ドラッグの場合¹⁰⁾には、現在、大麻やフェンタニルの乱用に軸足が移っているが、その鑑定は、乱用されている化合物やその代謝物を機器分析により特定すればよい。しかし、微細証拠物件の鑑定は、最終的に個別化を目的とするが、そこに到達することはきわめて難しく、様々な分析法を組合わせ、得られた結果についても統計的処理が必要となる場合があり複雑なものとなっている。

2.3 微細ガラス片の分析

微細なガラス片も、ガラス窓等を破った侵入盗のみならず、交通事故、強盗、殺人などの広範囲な犯罪現場に遺留されるとともに被疑者に付着する場合が多い重要な微細証拠物件の代表例であり、OSAC からの報告も多い、実際、本年（2025年）に入ってから、既にいくつかの報告が散見される（OSAC HP 参照）。

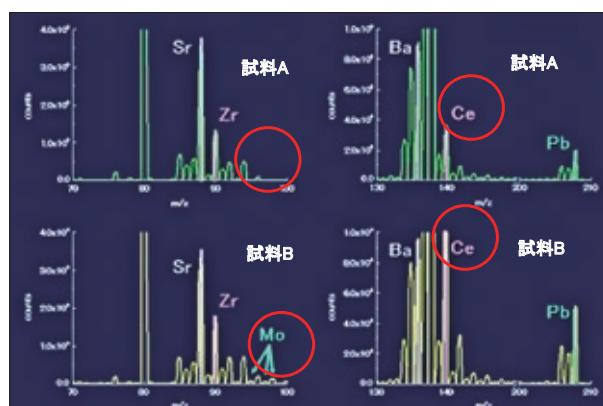
微細ガラス片の分析法は著しく進化している。例えば、精密屈折率の比較のみにより識別が行われていた時代から、以前は非破壊分析による微量不純物の分析が研究室にある分析機器では不可能であり、高輝度放射光施設（Super Photon ring-8 GeV、SPring-8）の放射光を利用した蛍光エックス線分析（Synchrotron X-ray Fluorescence Spectrometry、SR-XRF）でしかできなかった微細なガラス片（1 mm

図 10 ガラス片の精密屈折率測定におけるベッケ線の消失（浸液とガラス片の屈折率が一致したことを示す）



事実上の国際標準法

図 11 精密屈折率測定で識別不能の試料の LA-ICP-MS により得られたスペクトル両者には Mo 含有の有無などの差異が認められる



×1 mm 程度）に含有される微量元素の分析が、マイクロ蛍光エックス線分析法（Micro X-ray fluorescence spectrometry μ XRF）や結合プラズマ質量分析法（Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry、LA-ICP-MS）により含有される微量不純物の比較、さらには統計処理をすることにより、より精緻な識別法が開発されている。

精密屈折率の測定は、精密屈折率測定に特化した分析装置（Glass Refractive Index Measurement spectroscopy、GRIM3）を用いて、分析対象試料間の精密屈折率の差異が ± 0.0002 の範囲に収まっているかが一つの判断基準になる。この判断はベッケ線の消失により客観的に判断される（図10）。

また、精密屈折率分析では区別できなかった試料について、LA-ICP-MS を行い得られた質量スペクトルを図11に示す。微量元素に

明らかに違いがあり、これらの分析対象試料は異なっていることを明らかにすることが可能である。

3. 他の微細証拠物件分析対象

紙面の関係上、詳しく触れられなかったが、その他にも法植物学、法花粉学、法地質学などがあり、指紋も古典的な証拠物件として、検出のみならず照合にも先端技術が用いられている。

4. まとめ

近年、種々の媒体の影響もあり、Forensic Science の邦訳が法医学ではなく法科学という認識が広がっているように感じる。先日も外国のドラマを見ていたら、普通に Locard's exchange principle という単語が会話の中に出てきており、少し驚いた。しかし、軽々しく「法科学」という用語が用いられることには違和感を感じる。法科学は犯罪捜査を支援し、公判での立証に供するために、生物学、化学、物理学などを基礎とした、自然科学の応用を意味するものであり、初めて触れたのは、1896年に Hans Gross によって論じられ

た“Handbuch für Untersuchungsrichter als System der Kriminalistik”（刑事裁判官のための犯罪科学体系）である。それを源流とした長い歴史を持った学問体系である。この中には「法科学の父」と呼ばれフランスでは切手にもなっている Edmond Locard（相互付着の原則の提唱者、図12）らがいる。このようにところにも、欧米とわが国間の法科学の重要性に対する認識の程度の違いがみとれるのではないだろうか。

日々の分析技術の進歩、要請される事柄、妥当性の担保、学術的妥当性など留意すべき点は数多い。たとえ微罪（Broken Window Theory: 割れ窓理論という実践的学説がある）であっても「犯罪の解決を通じて社会の安定や国民の安全安心に貢献している」という誇りをもって難題に対処していきたいものである。

参考文献

- 1) Locard, E: Dust and its analysis, Police J., 1) 1, 117-192, 2) 276-298, 3) 410-418 (1830).
- 2) OSAC HP: <https://www.nist.gov/organization-scientific-area-committees-forensic-science/news-%2526-communications/osac-standards> (参照日：2025年1月22日).
- 3) National Academy of Sciences, Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward, National Academies Press, USA, 2009.
- 4) USA Today HP: <https://www.usatoday.com/story/news/nation/2024/11/18/forensic-science-crime-lab-police-DNA-test/75823347007/> (参照日：2025年1月22日).
- 5) Almirall, H, et al., An interlaboratory study evaluating the interpretation of forensic glass evidence using refractive index measurements and elemental composition, Forensic Chemistry, 22, March 2021 100307.
- 6) Robertson, J, et al., Forensic Examination of Fibres, 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, USA 2018.
- 7) 繊維鑑定における標準的分析的手法等に関する研究会報告, 法科学技術, 22, iii - xi (2017).
- 8) Houck, M.M., Identification of Textile Fibers, CRC Press LLC, FL, USA, (2004).
- 9) Itamiya, H, et al., Forensic discrimination of fiber microspectrophotometry data and repeating two sample hypothesis testing, Microchemical Journal 106, 111440 (2024).
- 10) 鈴木真一：不正に使用される薬物と法規制, セイフティエンジニアリング, 51 (1), 214, 20-25, 2024.

すすきしんいち

筑波大学第一学群自然科学類卒業。浜松医科大学医学博士。1979年 科学警察研究所入所、主任研究官、室長、附属鑑定所長を経て、2018年横浜薬科大学教授、2022年医薬品食品衛生研究所勤務ののち現在横浜薬科大学客員教授。日本法中毒学会評議員、日本法科学技術学会評議員、日本医用質量スペクトル学会評議員、日本分析化学会・表示と起源分析研究会参与。

図 12 法科学の父
Edmond Locard の記念切手

