

今回は、科学捜査研究所（科捜研）の仕事と研究トピックスについて紹介します。筆者は警視庁科捜研で勤務し、文書鑑定に関する鑑定業務・研究を行っています。と書くと、皆さんの頭の中に「？」が3つぐらい並んだかもしれません。まず、警視庁は東京都の警察本部であり、科捜研は47都道府県それぞれの警察本部に設置されています。科捜研のおもな仕事は、犯罪現場などに残された証拠品を顕微鏡や分析機器などを用いて検査し、犯人逮捕や公判維持に向けた鑑定書を作成することです。証拠品はバリエーションが多く、鑑定内容も多方面に及ぶため、科捜研の仕事はいくつかの分野に分かれており、文書鑑定の分野では、筆跡鑑定や印影鑑定、偽札に代表される印刷物鑑定などが行われています。したがって、文書鑑定の仕事を包括した一学問がなく、分野横断的な知識・技術が必要とされます。検査方法は非破壊が望ましく、光・レーザーを使った分析方法はなくてはならない存在です。

1. 印刷物鑑定の現状

「この紙幣は本物か？」のような真偽鑑定では、サンプルをじっくりと観察し、本物と比較して、作り方に違いがないか探す、この“違い”を見つけることが重要です。一般に紙幣には、まねのしにくい特徴、つまり偽造防止技術が施されています。日本銀行券にはホログラムや透かし、特殊発光インキなどが施されています¹⁾。これらは人間の目である程度見破ることができますが、見た目では判断できない場合、どうするか。ここで登場するのが光分析です。一般の人の目はごまかせても、検査人や分析機器にはばれてしまう“違い”が存在します。

では、光分析による“違い”とは何か。まず単純なのは光強度です。光をサンプルに照射し、透過光・反射光・蛍光などを検出し、光強度を測定します。明るい・暗いといった言葉で表現できるため、人間の目でもある程度は判断できます。次に、波長が挙げられます。サンプルから検出した光を回折格子やフィルターなどを使って分光し、スペクトルを測定することにより違いを見分けます。この段階になると、人間の目では色しか判断できません。例えば、日本銀行券の印章の特殊発光インキは、紫外線を照射すると橙色に光ります。“偽造らしき”サンプルに紫外線を照射し、印章が光らなければ、サン

プルは偽造の可能性が高くなります。一方、印章が光れば、何色に光ったかを目で確認します。見た目の色が同じだった場合は、分光器を用いて発光スペクトルを測定します。発光スペクトルに違いがない場合はどうするか。そこで、近年注目されている“違い”が“時間”であり、蛍光寿命や過渡的な反応中間体の立ち上がり・減衰時間などです。

2. 蛍光と蛍光寿命測定

物質が光を吸収すると、より高いエネルギー状態（電子励起状態）となり、この過剰なエネルギーを熱（無放射過程）や光（放射過程）として放出し、安定な状態（基底状態）へ戻ろうとします。この放射過程を「発光」とよびます²⁾。発光では、電子励起状態のスピン多重度が重要となり、励起一重項状態からの発光を「蛍光」、励起三重項状態からの発光を「りん光」とよびます。一般的に、蛍光の寿命はns～μs、りん光の寿命はμs～数sです。蛍光・りん光の強度 $I(t)$ は次式で表され、指数関数的に、時間とともに減少します。

$$I(t) \sim \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (1)$$

ここで、 t は光励起後の経過時間（遅延時間）、 τ が寿命です。しかしながら、物質は光励起によって電子移動などの反応素過程や無放射過程などが競合的に起こり、実際には式（1）のように単純ではありません。また、蛍光・りん光寿命は、物質の周囲の環境（溶媒の極性や分子の配列方向・マトリクスなど）にも依存するため、“時間”は、光強度、スペクトルと並ぶ“違い”を表すパラメーターとなります。

では、ナノ・マイクロ秒の蛍光寿命をどうやって測定するか。よく使用される手法は、イメージ・インテンシファイアー付きCCDカメラ（ICCDカメラ）、時間相関単一光子計数法、ストリークカメラなどです。この中で、スペクトルのみならず、画像も取得しやすいICCDカメラについて紹介します。ICCDカメラは、CCDカメラの前に光電面・マイクロチャネルプレート（MCP）・蛍光面のセットが付いたもので、図1のような構造です。MCPは、数多くの細いチューブ状の光電子増倍管が束となったものです。

ICCDカメラに入射した光は、光電面で光子から電子に変換されますが、光電面とMCP間に逆電圧

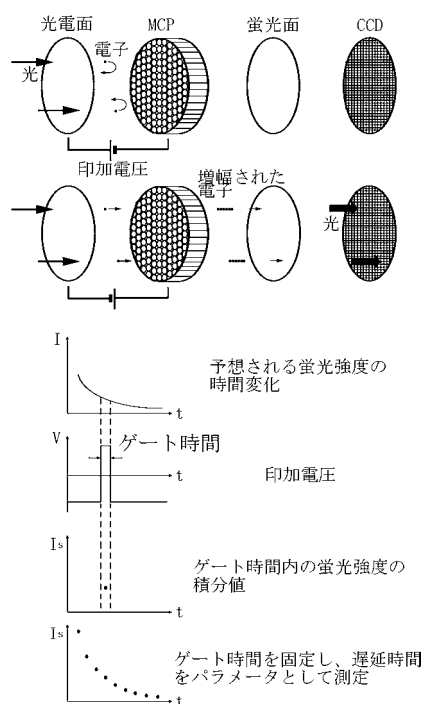


図1 ICCDカメラと測定方法の概略図。

がかかっていると、電子はMCPにたどりつきません。次に、順電圧をかけると、電子がMCPを通りながら増幅され、蛍光面で再び戻された光がCCDカメラで検出されます。したがって、瞬間的に順電圧をかけている時間（ゲート時間）だけの光を増幅することができ、励起光との遅延時間を変化させることで蛍光強度の時間変化を測定できます。ICCDカメラの前に分光器を設置すれば時間分解スペクトルが測定でき、分光器を外すことで時間分解画像を観察できます。最近では最短ゲート時間が数十psのICCDカメラも発売されており、高感度・超高速ゲート動作をもつICCDカメラは、微弱な光を検出するナイトビジョンから瞬間的な現象を捉える超高速カメラまで、幅広く使用されています。

3. 時間分解測定の研究例

以前「気になる論文コーナー」でも紹介した、紙の蛍光寿命を用いて米国のドル紙幣の真偽識別を行う研究³⁾は、蛍光スペクトルだけでは判別しにくいサンプルについて、蛍光寿命の比較により識別を行った点が興味深い論文です。また、禁制薬物の時間分解吸収スペクトルを測定し、過渡的な中間体の吸収スペクトルや中間体の寿命から禁制薬物の種類の識別を行った研究⁴⁾もあります。この手法はポ

ンプ・プローブ法とよばれ、単色の短パルスレーザー光（ポンプ光）でサンプルを励起し、ある遅延時間をもって白色の短パルスレーザー光（プローブ光）を照射して、過渡的な吸収スペクトルを測定し、中間体の挙動を観測します。過渡的な中間体は生成しますが、時間が経てば元の状態に戻るため、非破壊検査として有効です。さらに、時間分解蛍光画像観察による、油成分が付着した服の非破壊検査⁵⁾が報告されています。紫外光励起により油も服も蛍光を発しますが、蛍光寿命が異なることから、適切な時間領域での蛍光画像を撮影し、油成分が付着した位置を特定することができます。

実際の科捜研の仕事は、茶の間で1、2時間テレビを見ていれば事件が解決するといったドラマのようなことはなく、何日もかけてデータを測定し、分析・解析することはよくある話です。しかしながら、積み重ねたデータから犯人を特定でき、逮捕に結びついたときの充実感は、検査した本人にしか味わえない醍醐味です。警視庁科捜研では、「東京の治安を守る科学の目」をスローガンに、日進月歩する科学技術を鑑定に生かし、迅速・信頼性の高い鑑定業務を行っています。犯罪が減少し、「今日は検査するサンプルがない、コーヒーを飲んでから研究“でも”するか」なんて台詞が言える日が来ることを願っています。

（警視庁科学捜査研究所 鈴木基嗣）

文 献

- 1) 日本銀行：銀行券の偽造防止, http://www.boj.or.jp/note_tfjgs/note/security/index.htm
- 2) 例えば、井上晴夫、高木克彦、佐々木政子、朴 鐘震：“光化学 I”（丸善出版、1999）。
- 3) T. H. Chia and M. J. Levene: “Detection of counterfeit U. S. paper money using intrinsic fluorescence lifetime,” *Opt. Express*, **17** (2009) 22054-22061.
- 4) C. Sato, A. Furube, R. Katoh, H. Nonaka and H. Inoue: “Non-destructive and discriminating identification of illegal drugs by transient absorption spectroscopy in the visible and near-IR wavelength range,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **47** (2008) 8583-8589.
- 5) 竹内繁樹、不破俊弘、仲野勝美、秋葉教充、黒木健郎、日比野和人、阿部高行、五木田真弓、森田隆夫、伊藤元貞：“時間分解蛍光法の鑑識科学への応用”，日本法科学技術学会第15回学術集会予稿集（2009）p. 117.