

今回は、条件等色と偽札鑑定をはじめとする偽造文書鑑定、また文書の偽造防止技術とのかかわりについて紹介します。

偽造文書鑑定は、通貨、有価証券類をはじめとする文書類を解析し、その真偽や改ざんの有無などを識別するとともに、作成方法を解明することを目的としています。警察においては、犯罪鑑識活動の一分野となっています。最近ではDTP (desktop publishing) に代表されるように、個人でカラー印刷物を容易に作成できる環境になったことを背景として、紙幣、有価証券類、パスポート、トラベラーズチェック、運転免許証などが偽造され、犯罪に用いられるケースが増えています。平成16年に発見された偽造日本銀行券は、25,858枚にもものほりました¹⁾。

偽造文書を識別することは、条件等色の考え方立てば、それほど難しいことではありません。また条件等色の性質をうまく利用することにより、効果的な文書偽造防止策を施すことができます。

1. 条件等色

まず条件等色について説明します。分光分布が異なる2つの色刺激が、ある条件の下で等色となる現象を条件等色(メタメリズム, metamerism)と呼びます。またこのような2つの色刺激を、条件等色対(メタマー, metamer)と呼びます²⁾。

いま色刺激として、反射物体の物体色を考えます。 $P(\lambda)$ を照明光の分光分布、 $R(\lambda)$ を反射物体の分光反射率とすると、色刺激 $\phi(\lambda)$ は、 $\phi(\lambda) = R(\lambda) \cdot P(\lambda)$ と表されます。反射物体の三刺激値 X, Y, Z は、XYZ表色系の等エネルギーに対する等色関数 $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ を用いて次式のように求められます。

$$\begin{aligned} X &= k \int_{vis} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= k \int_{vis} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= k \int_{vis} R(\lambda) \cdot P(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、 k は定数であり、積分は可視波長域で取るものとします。

式(1)からわかるように、 $R(\lambda)$ とは異なる分

光反射率 $R'(\lambda)$ に対しても同じ三刺激値が与えられ、等色となることがあります。しかし、この場合には、照明光 $P(\lambda)$ が異なる分光分布をもつ $P'(\lambda)$ に変化すると、もはや等色ではなくなります。

条件等色は、等色を成立させている条件が変化すれば、等色ではなくなります。その要素には、物体色(分光反射率, 分光透過率)、照明光(分光放射特性)、観察者(分光感度特性)があり、それに応じて物体色メタメリズム、照明光メタメリズム、観察者メタメリズムと呼ばれます。また測定 of 幾何学的条件(照明方向と観察方向の関係)により、条件的に色が一致することも条件等色のひとつと考えられ、幾何学的メタメリズムと呼ばれています。

図1は、条件等色対にある2種類のインクによる印刷物の色度座標と分光反射率を示したものです。両者の分光反射率は異なっていますが、D65光源(昼光色)、 10° 視野の条件で、色度が一致しています。しかしながら、白熱電球のように長波長側に多くの放射エネルギーをもつA光源の下で観察すると、両者の色度は一致しません。分光放射特性の異なる複数の照明条件で観察することにより、もしくは分光感度特性の異なる条件で観察することにより、物体色メタメリズムであることを知ることができます。

2. 条件等色と偽造文書の識別

次に条件等色が、偽造文書鑑定とどのようにかわっているかについて紹介します。

条件等色の考え方立てば、特定の条件下のみで等色となることは、2つの色が異なることの証拠となります。すなわち肉眼には同じ色に見える偽造文書と真正文書との色が、条件等色対であることを示すことにより、偽造文書を識別することができます。例として図1に示したInk 1が真正文書のインクであるとし、このとき、Ink 2は真正文書とは条件等色で色が一致しているに過ぎず、そのインクで記載された文書は偽造であることとなります。

物体色メタメリズムに加えて、幾何学的メタメリズムも偽造文書の識別に有効です。物体の見え方は、照明方向や観察方向などの測定ジオメトリーによって変化します。その例として、米国100ドル紙

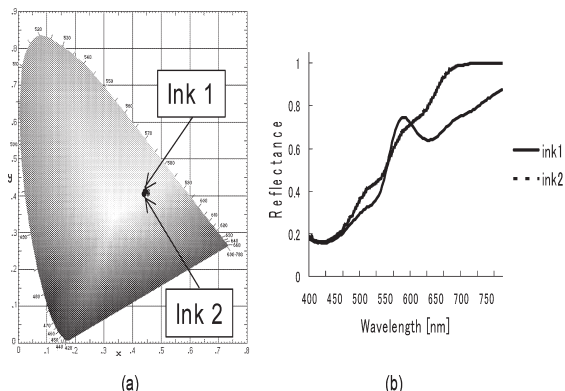


図1 条件等色対を成す印刷物の例。(a) xy 色度座標 (D65, 10°), (b) 分光反射特性。

幣の凹版印刷部を図2に示します。凹版印刷物はインクの画線部が盛り上がっているため、斜光線照明下では図2(b)に示すような独特の質感を呈します。平版印刷やプリンターなどの安価な印刷方法を用いると、図2(a)のような色や見え方は再現できますが、斜光線照明下での見え方が異なります。

文書鑑定では、斜光線照明や正反射ジオメトリーのように、幾何学的メタメリズムが成立しにくい極端なジオメトリーで観察することにより、真正文書と偽造文書との差異を識別します。また測定ジオメトリーと反射特性との関係を、双方向反射率分布関数 (BRDF: bidirectional reflectance distribution function)³⁾を用いて定量的に記述する方法も用いられます。

3. 条件等色の文書偽造防止技術への応用

続いて条件等色を用いた文書の偽造防止技術について紹介します。

真正文書に条件等色対を意図的に用いることにより、偽造防止技術とすることができます。まず条件等色対は、測色的な色再現を目的とする一般の画像機器では、複製することができません。オリジナルの分光特性が忠実に再現されないためです。真正文書との分光特性の違いは、前節で述べた条件等色の検査方法によって容易にチェックすることができるため、流通や決済の段階でも識別することができます。さらにD65のような昼光色の光源のもとで、肉眼には同じ色に見えるような条件等色対を用いると、条件等色による偽造防止技術が用いられている



図2 測定ジオメトリーによる見え方の変化 (米国100ドル紙幣, 凹版印刷部)。(a) ジオメトリー 0/0, (b) ジオメトリー 70/0。

こと自体が察知されにくくなります。偽造する者からセキュリティーポイントを秘匿するという意味で、高い偽造防止効果が期待できます。

また幾何学的メタメリズムを意識した偽造防止技術としては、ホログラムやパールインクのような光学的变化素子 (OVD: optically variable device) があります。これは光の回折や干渉によって色や画像が測定ジオメトリーに応じて鋭敏に変化するものであり、紙幣や有価証券類、クレジットカードをはじめとする偽造防止策として幅広く用いられています。日本でも、2004年11月に発行された新しい銀行券に光学的变化素子が採用されたことは、記憶に新しいところです。

以上、条件等色と偽造文書鑑定とのかかわりについて紹介しました。偽造防止技術の進歩により、真正品を忠実に偽造することが技術的にもコスト的にも困難な状況となりました。しかしながら、行使する対象や環境を限定し、その条件でのみ真正文書と同じように見せる“条件等色的な偽造文書”が後を絶ちません。偽造抑止効果を高め、セキュリティーを向上させるためには、特性の異なる複数の視点でチェックを行い、条件等色を識別することが重要であると思います。

(科学警察研究所 赤尾佳則)

文 献

- 1) 警察庁：偽造通貨の発見枚数, <http://www.npa.go.jp/toukei/souni/gizou.htm>
- 2) 日本色彩学会：新編 色彩科学ハンドブック, 第2版 (東京大学出版, 1998).
- 3) F. E. Nicodemus: "Reflectance nomenclature and directional reflectance and emissivity," *Appl. Opt.*, **9** (1970) 1474-1475.