

試射弾丸の異同識別を目的としたヒストグラムインターセクションと
ダイバージェンスによる類似性評価の検討
Study of the similarity evaluation with histogram intersection and divergence
for toolmark identification

藤井 周十 中田 英紀† 前田 俊二† 飯塚 正美‡ 安野 拓也‡ 仁戸部 勤‡ 中山 透* 金子 俊一** 渋谷 久恵**
Shu Fujii† Hidenori Nakada† Shunji Maeda† Masami Iizuka‡ Takuya Yasuno‡ Tsutomu Nitobe‡
Toru Nakayama* Shun'ichi Kaneko** Hisae Shibuya**

<要約> 銃器事件の早期解決と鑑定員の負担軽減を目的とした弾丸の類似性評価手法を検討した。拳銃から発射された試射弾丸の線条痕を対象とする。線条痕強調のため、2次微分フィルタと位相限定相関に基づいた位相強調手法を使用する。次に、二つの試射弾丸の画像間で正規化相関、Histogram Intersection(HI)、Kullback-Leibler divergence(KLD)の三種類で類似性を評価する。正規化相関は二つの局所領域の画像を対象とし、HIとKLDは局所領域のヒストグラムを作成し、これらのヒストグラムに関する分布の一致度と分布間の距離をそれぞれ求める。試射弾丸を用いて評価した結果を報告する。
<キーワード> 試射弾丸, 線条痕, 異同識別, Histogram Intersection, Kullback-Leibler divergence

1. 緒言

科学警察研究所や科学捜査研究所では、事件で使用された拳銃と弾丸の関係性に関して、弾丸に残るきず（以下線条痕）を対象に比較照合に基づく判定を行い、拳銃を特定している。これは発射弾丸の異同識別と呼ばれ、鑑定員による比較顕微鏡を用いた目視検査により行われている。しかし鑑定に時間を要することや、鑑定において専門技術・知識を保有することが必要とされるため、その負担軽減が求められている。本研究では、効率的で定量的な評価を与える異同識別システムの開発を最終目標とし、本報告では、線条痕同士を対応付ける類似性評価方式を提案する。

2. 弾丸異同識別の課題

識別の対象である線条痕を、図1を用いて説明する。弾丸には発射される際、線条痕というきずがつく。この線条痕は銃ごとのライフリングに依存し、拳銃ごとに固有のものであるため、線条痕を鑑定することで拳銃の特定が可能とされている。線条痕鑑定にあたり以下の課題がある

- (1) 鑑定に時間を要する(1件の鑑定:数日~1ヶ月)。
- (2) 鑑定技術の習得に時間がかかる。

線条痕は加工痕と同様と考えられ、転写痕ではないため、すべての線条痕が全体に一致するとは限らない。また、観察の際の照明・検出の条件により、見えに差が生じることがある、これらの課題を対処するため効率的かつ定量的な指標を与える異同識別支援技術の開発が期待されている。

類似性の評価手法は、本研究の根幹をなすため、正規化相関、Histogram Intersection[1]-[3]、Kullback-Leibler divergenceの三種類を比較することにした。

3. Histogram Intersection と Kullback-Leibler Divergence

図2にHistogram Intersection（以下HIと略す）とKullback-Leibler Divergence（KLDと略す）の算出方法を

示す。いずれも対象画像に複数のブロックを持つブロック集合体（ROI）を作成しブロックごとに輝度ヒストグラムを生成する。HIでは生成されたヒストグラムの共通部分を算出し評価値とし、KLDではヒストグラム間の距離を算出し評価値とする。HIの計算式は

$$HI = \frac{\sum_i \min(h(f[i]), h(g[i]))}{\sum_{bin(i)} h(g[i])} \dots \dots \dots (1)$$

と表され、評価値は0~1をとり、1が最大評価値となる。 $h(f), h(g)$ は画像 f, g の n 個のbinをもつヒストグラムをそれぞれ示し、 $\sum_i \min(h(f), h(g))$ は、 i 番目のbinごとに画像 f, g の投票値の小さい方を加算するものであり、 $\sum_{bin(i)} h(g)$ はヒストグラムのbinごとの投票数を足し合わせることで総画素数を算出するものである。

KLDの計算式は

$$KLD = \sum_{bin(i)} h(f[i]) \log \frac{\sum_{bin(i)} h(f[i])}{\sum_{bin(i)} h(g[i])} \dots \dots \dots (2)$$

と表せる。評価値は距離が算出されるため、0に近いほど類似度が高い。なお、横(x)方向に連続する線条痕を強調すべく、HI値・KLD値を算出する前に2次微分や位相限定変換を用いる。生成したHI分布とKLD分布を正規化相関と比較し図3に示す。評価画像中央部分の輝度値を波形にし

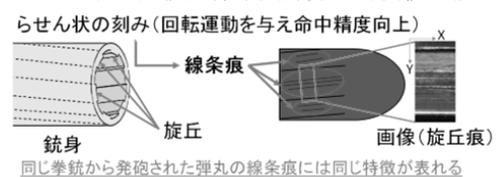


図1 ライフリング、線条痕と取得画像

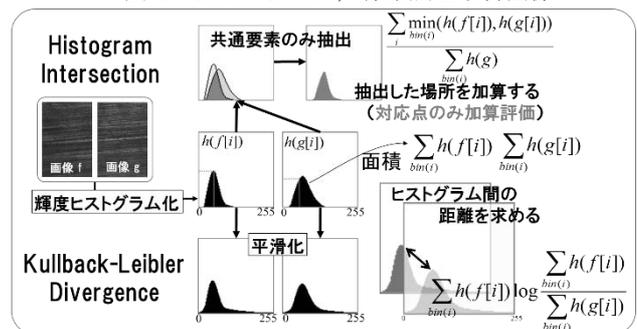


図2 HIとKLDの算出方法

†:広島工業大学
‡:科学警察研究所
*:神奈川県警科学捜査研究所
**:北海道大学

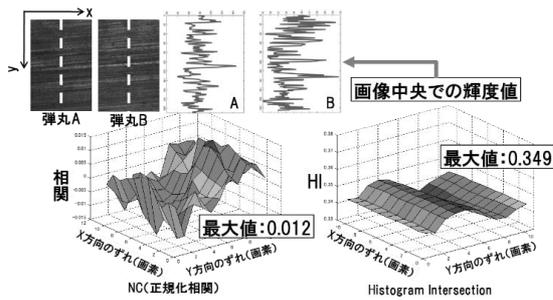


図 3 正規化相関と HI と KLD

たものを画像の右に示す。

正規化相関は急峻な値をとっているが、0 付近の非常に小さな値であり、それに比べると HI, KLD とともに分布形状が安定しており単峰になっている。また、弾丸の回転方向(y 方向)に対して高いマージンが得られている。なお、KLD は定義上 0 が最大評価値となるため z 軸を反転して表示している。

次に、HI と KLD に関して、線条痕の本数[4]に対応した評価値が得られるかどうかを評価した。

4. 実験条件と結果

実験条件を表 1 に示す。主に線条痕が 1 本分入る大きさのブロックを設定する。ブロックの寸法は固有線条痕が入る 100×6 画素とし、この範囲でヒストグラムを生成する。

なお、線条痕のない画像平坦部でヒストグラムが一致した結果として HI の値が上がらないように画像のクリッピングを行う。具体的には、微分フィルタリングの後に、画素の明るさの絶対値がしきい値以下の画素をヒストグラム作成から除いている。

図 4 に対象弾丸の ROI 範囲と参照弾丸参照範囲を示す。ここでは旋丘痕内の比較的明瞭な線条痕 3 本に注目し、これを 3 本、2 本、1 本含む ROI として 3 種類 (100×206 画素) 設定した。図 4 に走査範囲を示す。参照画像の走査範囲は 1,850×440 画素とし、x 方向に 1,800 点、y 方向に 240 点、計 43,200 点の HI, KLD を評価した。

図 5, 6 にそれぞれの結果を示す。これらの結果の最大値を図 7 左図に示す。線条痕の本数が増えると HI の評価値は増加している。距離を表す KLD も線条痕の本数が増えると類似度が増しており、HI と同様の傾向を示すことが確認できた。しかし、HI の評価分布と KLD の評価分布を比べると HI のほうが対応位置の評価値が安定して算出されている。したがって、線条痕の対応位置算出において HI 手法がより適していると考えられる。ただし、KLD には HI のクリッピングに相当するものがなく、今後検討したい。

5. 結言

弾丸に複数存在する線条痕の類似性を評価することを目的として、Histogram Intersection(HI), Kullback Leibler Divergence, 正規化相関を比較評価した。その結果、HI は線条痕の本数に対応した評価値が得られることを確認した。

参考文献

- [1] 米田圭吾他：画像照合に基づく発射弾丸異同識別における有効線条痕の選択, ビジョン技術の実利用ワーク

ショップ, ViEW2013,IS2-A11(2013).

- [2] 前田 俊二他：線条痕顕在化と画像分割照合による発射弾丸の異同識別方式の検討, 精密工学会, 79, no.5, pp.423-429 (2013.5).
- [3] 藤井 周他：試射弾丸の異同識別を目的としたヒストグラムを用いた類似度分布の取得, IS1-B7, DIA2015(2015.3)
- [4] 内山常雄：線条痕の画像解析, 日本写真学会誌, vol.67,no.4,pp.361-370 (2004).

表 1 実験条件

照明	斜方照明
総合倍率	12.5倍
検出画素寸法	3.39μm/画素
弾丸姿勢	線条痕を平行に撮影
ヒストグラムbin幅	2階調
クリッピングしきい値	自動調節
ROI(ブロック集合体)	100×206画素

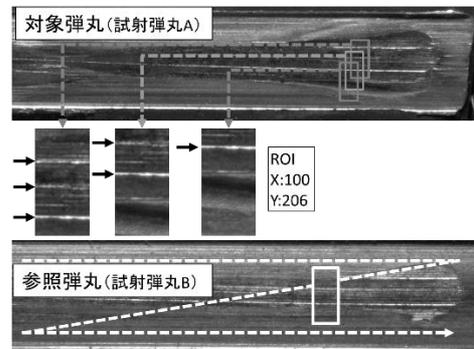


図 4 ROI と類似性評価範囲

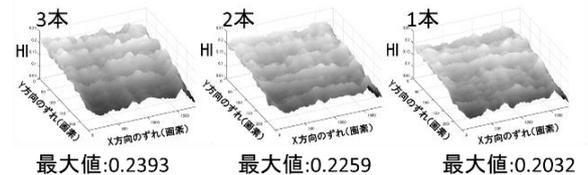


図 5 線条痕の本数に対応した HI 評価結果

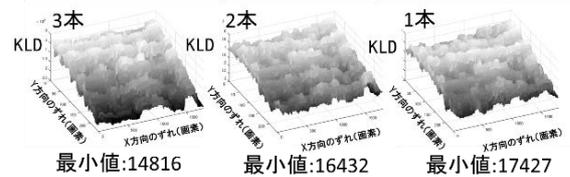


図 6 線条痕の本数に対応した KLD 評価結果

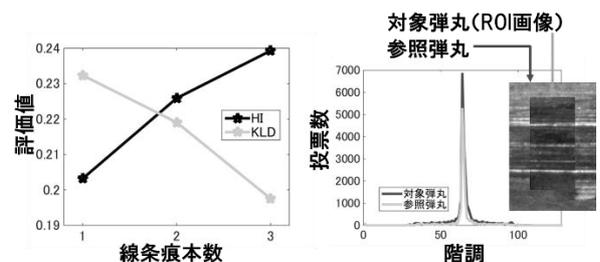


図 7 線条痕の本数に対応した HI と KLD の評価値(左図)と HI 最大位置でのマッチングとヒストグラム(右図)