

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：82505

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K11516

研究課題名（和文）筆跡画線の質感解析による不自然な書字行動の検知

研究課題名（英文）Detection of unnatural writing behavior by analyzing the appearance of handwritten strokes

研究代表者

赤尾 佳則（Akao, Yoshinori）

科学警察研究所・法科学第四部・室長

研究者番号：30356159

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：筆跡を見て、不自然に書かれたものかどうかを検知する方法を研究した。本研究では、不自然な筆跡の代表例として、敷き写しされた筆跡（透写筆跡）を対象とした。まず、専門家が筆跡を見て、画線のどのような質感に着目するかを調査した。次に、ペン先の速さや筆圧などの書字ダイナミクスとの関係を調査した。さらに、筆跡画線を撮影し、色や光沢などの物理的特性を取得する偏光型複眼カメラを開発した。以上の実験結果を総合的に考察したところ、偏光比画像の画素値を手がかりとして、画線の始筆部、終筆部の運筆の停滞を検出するとともに、画線内の画素値の均一性を評価することにより、透写筆跡を検出できる可能性があると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間が見て感じる質感について、測定に基づいた客観化を試みた研究である。質感は、見る人によって感じ方が異なるため、説明指標としての利用が困難であった。筆跡を題材とし、専門家の知見を積極的に活用することにより、画線の物理的特性との関連を明らかにし、測定による評価を可能とした。研究成果は、犯罪鑑識における筆跡鑑定に客観性向上に直接的に役立つ。さらに、行動的特徴に基づくバイオメトリック個人認証の研究とも位置付けられ、情報システムのユーザー個人を適切に認証し、セキュリティを維持する技術への波及も期待できる。

研究成果の概要（英文）：A method for detecting unnatural handwriting by observing the handwriting was studied. As a representative example of unnatural handwriting, we focused on traced handwriting. Firstly, we investigated the kind of texture of the strokes an expert would pay attention to when examining handwriting. Secondly, the relationship with writing dynamics such as speed and pressure at the pen tip was studied. Lastly, we introduced a polarized compound-eye camera to capture physical characteristics such as color and gloss by imaging handwriting strokes. As a result, the pixel value of the polarization ratio image was effective to detect the stagnation of strokes at the beginning and end of the stroke line. Combined with the uniformity of pixel value within the stroke line, detecting the traced handwriting would be achieved.

研究分野：情報科学

キーワード：筆跡 質感 ソフトバイオメトリクス 偏角反射特性 熟練者

1. 研究開始当初の背景

行動的特徴に基づくバイOMETリック個人認証は、行動の癖までを模倣することが困難であることから、次世代の個人認証技術として期待されている。その人らしい行動の癖は、自然な行動の中に見出されることから、不自然な行動を検知し、排除した上で認証をおこなう必要がある。

書かれた筆跡から書いた人の異同を識別する筆跡鑑定を例に挙げると、文字を書く行動、すなわち書字行動を推定し、筆跡に不自然な部分が認められるかどうかを検知することが重要といえる。専門家による鑑定の場合、画線のかすれやインクの滞留などの筆跡画線の質感に着目し、不自然さに気づいた場合、筆照合の結果を「不明」としている。この点が人間による鑑定と機械による識別の大きな違いといえる。しかしながら、人間による質感の把握、及びそれに基づく不自然さの説明では、客観化が大きな課題となっていた。

2. 研究の目的

そこで本研究では、筆跡による個人認証を題材として、その筆跡が書かれたときに、不自然な書字行動があったかどうかを客観的に検知する方法を開発することを目的とした。具体的には、不自然な筆跡の代表例である透写筆跡(敷き写しされた筆跡)を対象とした。そのために、筆跡鑑定の専門家が画線のどのような質感に着目するかを調査し、筆跡画線の物理的特性との関係を明らかにした。また、紙の上に書かれた筆跡から、不自然な書字行動に関連する情報を測定する方法を開発した。最終的に、不自然な書字行動の検知に有効な計測手法や評価指標を提案することを目指した。

3. 研究の方法

(1) 自然・不自然条件での筆跡採取

ボールペンのタブレットを用いて、紙面上に筆跡を採取すると同時に、ペン先の位置と筆圧の時系列データを取得した。不自然な筆跡として、透写筆跡を採取した。敷き写す文字は、当研究所が保有する筆跡標本からカーネル密度推定法で求めた画線の密度分布画像とした。また自然条件での筆跡も採取した。文字の種類は、平仮名 46 字種、数字 10 字種、漢字 500 字種とし、20mm 角のマスキング内に研究代表者が筆記した。さらに 1 名の被験者について、平仮名の筆跡を採取した。

(2) 複眼同軸落射偏光カメラによる画線の測定

複眼同軸落射偏光カメラ(ASAHI E.L., PiTOMBO, PH4-COAX-PLI)(図1)を用い、筆跡画線の偏光比画像を測定した。このカメラは、筆跡画線の質感にまつわる情報を取得するために開発したものであり、 2×2 の複眼レンズを有する。また同軸落射照明ユニットを備えており、筆跡画線の底部に光沢を発生させ、その様子を複眼カメラで多方向から同時に観察できる。さらに画像センサ上には、4つの複眼レンズに対応した方向の異なる直線偏光が取り付けられている。これにより照明側の偏光フィルタを切り替えることなく、ワンショットで4種類の異なる偏光画像を取得することができる。そのうち直交ニコル画像、及び平行ニコル画像を用い、偏光比画像(平行ニコル/直交ニコル)を求めた。

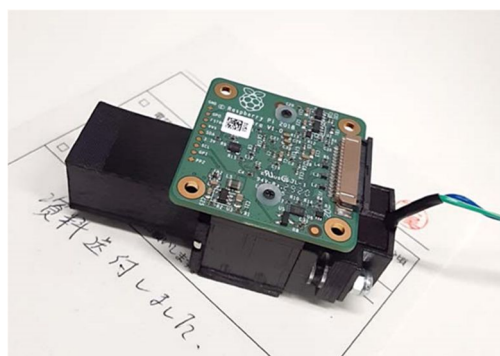


図1 複眼同軸落射偏光カメラによる画線の測定

(3) 偏光比画像と書字ダイナミクスとの関連調査

上記(2)で求めた偏光比画像と、上記(1)で求めたペン先の速さや筆圧などの書字ダイナミクスとの関係を調査した。特に画線の始筆部、終筆部では、不自然条件において、筆記具の停滞などの影響が予想されたことから、重点的に解析をおこなった。

(4) 専門家による主観的指標の探索

透写条件の筆跡を文書鑑定の専門家が観察し、筆跡の画線の状態から不自然な状態が認められるかを調査した。研究代表者が実体顕微鏡で筆跡を観察し、記述による指摘をおこなった。指摘事項は、質感を含む画線の特徴のほか、その筆跡が書かれたときの運筆状態の推定も含めた。

(5) 主観的指標と物理的指標との関連調査

上記(4)で得られた主観的指標と、上記(2)で求めた物理的指標である偏光比画像との関連性を探索した。質的データの分析手法の一つである KJ 法を用いて、上記の情報を整理した。

4. 研究成果

(1) 自然・不自然条件での書字ダイナミクス

書字ダイナミクスとして、筆圧及びペン先の速さを求めた。透写条件では、自然条件と比べてペン先の速さが低下し、書字時間が長くなった。また筆圧は、自然条件では、始筆部から終筆部、またはペンの進行方向が変わる箇所にかけて滑らかに上昇したのに対し、透写条件では自然条件と比べて変化の幅が狭く、ほぼ一定の状態が続いていた。これは、透写条件では筆跡画線が円滑でなく、抑揚のない状態を示すという、従来から熟練者が指摘してきた筆跡画線の質感を生み出すものと考えられた。

(2) 複眼同軸落射偏光カメラによる画線の測定

図2に複眼同軸落射カメラによる画線の測定例として、自然条件の筆跡の測定結果を示す。複眼光学系により、各個眼に対応し、異なる偏光条件下での画像が得られた。直交ニコル画像(Crossed)では、画線の色材による色の吸収が見られるのに対し、平行ニコル画像(Parallel)では、画線の色材による光沢がみられた。

図2から算出した偏光比画像を図3に示す。これは、直交ニコル画像に対する平行ニコル画像の比として定義したものである。この筆跡の例では、画線の始筆部(図中の赤色の丸で囲んだ部分)で高値となった。すなわち、色材が付着し、かつ光沢が強くみられる部分と考えられた。

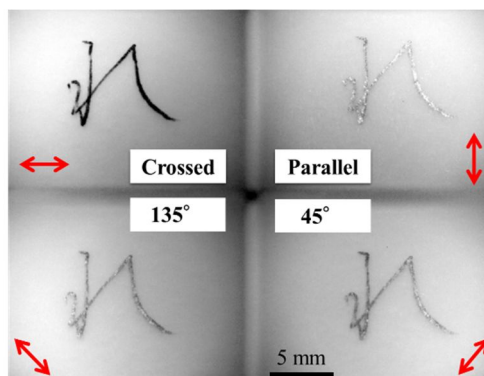


図2 複眼同軸落射カメラによる画線の測定例(自然条件)

(3) 偏光比画像と書字ダイナミクスとの関連調査

偏光比画像の画素値を指標として、書字ダイナミクスとの関連を探索したところ、自然条件と透写条件ともに、筆圧と力が働いた時間の積(力積)が大きくなると、偏光比画像の画素値が高くなる傾向がみられた。

なお、始筆部や終筆部などで筆記具が停滞した部分では、指標の安定性に問題がみられた。しかしながら、その前後の筆跡画線の状態との連続性を考慮することにより、適切に評価できることが分かった。



図3 偏光比画像の例(自然条件)

(4) 主観的指標の探索と物理的指標との関連調査

透写条件での筆跡を指摘する質感関連用語として、以下が列举された。全体的に、よどんでいる、抑揚がない印象を与える。連続運筆がみられない。画線の太さがほぼ均一であり、太い部分、細い部分の差が少ない。画線の曲率が急に変わっている部分があり、湾曲した画線では、滑らかに曲がっておらず、直線では画線が震えている。始筆部からしっかりと筆が下ろされており、ペン先の速さが低い。終筆部で筆が止まっている。

「画線の太さがほぼ均一であり、太い部分、細い部分の差が少ない」点については、偏光比画像における画素値の均一性と関連がみられた。また、始筆部や終筆部などで筆記具が停滞した部分では、力積が大きくなることから、偏光比画像の画素値を指標として検出が可能と考えられた。その他の形状に関する指摘は、偏光比画像だけでは説明は困難であった。可視反射画像からの特徴抽出や、その他の指標との組み合わせにより、不自然な筆跡である透写筆跡を、より高度に検出する必要があると考えられた。

総括すると、透写条件での筆記における書字ダイナミクスは、従来から熟練者が指摘してきた筆跡画線の質感を生み出し、偏光比画像を指標として検出できる可能性があると考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 赤尾佳則	4. 巻 48(8)
2. 論文標題 書字行動を可視化する光技術	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 光学	6. 最初と最後の頁 296-302
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Yoshinori Akao
2. 発表標題 Compound-eye polarization imaging under coaxial illumination for forensic handwriting examination
3. 学会等名 The Twelfth Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics 2022 (DHIP2022) (2022年12月20日, Optical Society of Korea, Optical Society of Japan, at Wonkwang University, Korea) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshinori Akao
2. 発表標題 Observation of handwriting strokes by compound-eye polarization camera
3. 学会等名 OPTICS & PHOTONICS International Congress 2022 (OPIC2022) (2022年4月22日, 日本光学会, パシフィコ横浜, 横浜市) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤尾佳則
2. 発表標題 複数文字種の筆跡を学習した深層ネットワークによる筆者識別の試み ~ 401名の筆跡標本を用いた検証 ~
3. 学会等名 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会 (2023年3月2日, 公立はこだて未来大学, 函館市)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 赤尾佳則 ほか
2. 発表標題 筆跡の深層学習による異なる文字種での筆者識別の試み
3. 学会等名 日本法科学技術学会第28回学術講演会（2022年11月10日，オンライン）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤尾佳則
2. 発表標題 複眼偏光画像の機械学習による書字ダイナミクス推定の試み
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2022（2022年11月16日，宇都宮大学，宇都宮市）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤尾佳則
2. 発表標題 複眼同軸落射偏光カメラによる筆跡画像解析
3. 学会等名 第16回新画像システム・情報フォトンクス研究討論会（2022年6月17日，東京工業大学，目黒区）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤尾佳則
2. 発表標題 複眼偏光カメラで筆跡のナゾに迫る
3. 学会等名 日本光学会情報フォトンクス研究グループ第2回MIETA+ワーキンググループ研究会（2022年9月24日，オホーツク文化・交流センター，網走市）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤尾佳則
2. 発表標題 複眼偏光カメラによる筆跡画像解析
3. 学会等名 第15回新画像システム・情報フォトンクス研究討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤尾佳則
2. 発表標題 複眼偏光画像による印刷方式推定へのCNNの試用
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤尾佳則 ほか
2. 発表標題 カーネル密度推定による標本筆跡の平均的な字形表示
3. 学会等名 日本法科学技術学会第27回学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤尾佳則
2. 発表標題 筆跡の複眼偏光画像による書字ダイナミクス推定
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会 第42回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤尾佳則
2. 発表標題 深層学習を用いた異なる漢字文字種での筆者識別
3. 学会等名 日本法科学技術学会第26回学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤尾佳則
2. 発表標題 筆跡画線画像からの書字ダイナミクス推定へのCNNの試用
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2020 (2020年11月16日, オンライン開催)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤尾佳則
2. 発表標題 筆跡画線深さ情報からの書字ダイナミクス推定へのCNNの試用
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshinori Akao
2. 発表標題 Compound-eye imaging and kinematic information of handwriting
3. 学会等名 The Ninth Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics (DHIP2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshinori Akao
2. 発表標題 Compound-eye polarization imaging under coaxial illumination for forensic printed line examination
3. 学会等名 OPIC2019 (OPTICS & PHOTONICS International Congress 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤尾佳則
2. 発表標題 複眼カメラによる筆跡画線の解析
3. 学会等名 日本光学会情報フォトンクス研究グループ 第5回MIETAワーキンググループ研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤尾 佳則 ほか
2. 発表標題 筆跡の複眼偏光画像と書字ダイナミクスとの関連調査
3. 学会等名 日本法科学技術学会第25回学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshinori Akao
2. 発表標題 Compound-imaging for forensic handwriting examination
3. 学会等名 The Eighth Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics (DHIP2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 赤尾 佳則 ほか
2. 発表標題 複眼画像処理による筆跡画線の観察
3. 学会等名 日本法科学技術学会第24回学術集会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------