

報道関係者各位
プレスリリース

2025 年 5 月 13 日

学校法人金城学園 金城大学

学校法人梅村学園 中京大学

世界初！筆跡の「うまさ」を数値化 — うまくなる過程をエントロピーで可視化 —

あなたの「字のうまさ」が数値で見えるとしたら？—そんなユニークな試みに成功したのが、金城大学と中京大学の研究チームです。金城大学経済学部の上村宏樹助教と中京大学大学スポーツ科学部の山田憲政教授の研究チームは、筆跡運動の巧拙を「乱雑さ（エントロピー）」によって初めて科学的に定量化し、その学習過程を時系列で精緻に可視化することに成功しました。本研究は、国際誌の「Entropy」に掲載されました。

本研究成果のポイント

- 筆跡の「うまさ」を情報理論に基づくエントロピーで定量化しその習得の過程を可視化
- 鏡像反転課題における局所的認知適応（干渉／非干渉）の差異を明示
- 運動学習に見られる部位ごとの進行の違いや適応の傾向を明示

背景

従来の運動学習研究では、運動時間や誤反応数などの量的な指標が用いられてきましたが、動作の「うまさ」といった質的向上を科学的に評価する手法は確立されていませんでした。

本研究では、鏡像反転という特殊な視覚運動変換課題を用い、日常とは異なる知覚環境における運動学習の過程を検証しました。鏡像では、左右の動きは通常どおりに見える一方で、前後方向の動きが逆転して映るため、意図した動きと視覚情報が一致せず、特に斜め方向の運動では大きな錯誤が生じます。

このような高干渉状況下で、同じ図形を 100 回反復してなぞり、その筆跡の座標データを高精度に取得。お手本からのズレを情報理論に基づくエントロピー指標で定量化し、「うまさ」の変化を可視化する新たな手法を確立しました。

内容

図 1 は、実験中の様子を示しています。参加者は、自分の手元が見えない状態で、鏡に映る星型の図形をペンでなぞる課題に取り組みました。鏡像では視覚情報が反転するため、とくに斜めの線分の筆記が困難になります。参加者はこの課題を 100 回繰り返し、ペン先の座標情報をデジタル化して記録しました。

図 2 は、結果の代表例を示しています。

- 図 2A：全体の筆跡を表示。辺 1（非干渉部）は反転後でも容易に書けますが、辺 2（干渉部）は混乱を生じやすく、難易度が高くなります。

- 図 2B：辺 1 と辺 2 の筆跡を拡大し、赤線の“お手本”からの距離の分布をヒストグラムで表現。筆跡の乱雑さをエントロピーとして定量化しました。

- 図 2C：10 試技ごとのブロックに分け、各辺のエントロピー変化を追跡。干渉部では学習初期にエントロピー値が高く、ばらつきが大きかったものの、反復練習により安定性が向上し、エントロピーは徐々に減少しました。

このように、本研究では、運動の「うまくなる」過程をエントロピーの変化として数値的に可視化することに成功しました。さらにこの分析からは、一見ひとまとまりに見える動作であっても、実際には部位によって難しさや習得の進み方に違いがあることが明らかになりました。

こうした特徴は、日常的な動作の中にも見られます。たとえば、図形を正面で書く場合と、身体の横で書く場合とでは、筆跡の精度に差が出やすく、横方向では歪みが生じやすいことが知られています。これは、身体の前方では視覚と動作の協調が自然に保たれる一方で、側方や後方にかかる動きでは視覚と運動の一致が難しくなるためです。

また、同様の現象は視覚以外の感覚領域にも見られます。たとえば、鉄棒運動の逆上がりでは、動きの一部は自然にできても、ある局面では身体が思い通りに動かせず、動作が途切れてしまうことがあります。これは、運動の出力（運動系）と筋感覚（固有感覚）からのフィードバック（知覚系）の適合が、場面によって異なるためです。

本研究で明らかになった、図形の辺ごとに異なる「うまさの習得速度」や「適応の困難さ」は、こうした空間的・身体的な要因とも一致しており、運動学習が決して一様には進まないことを示しています。

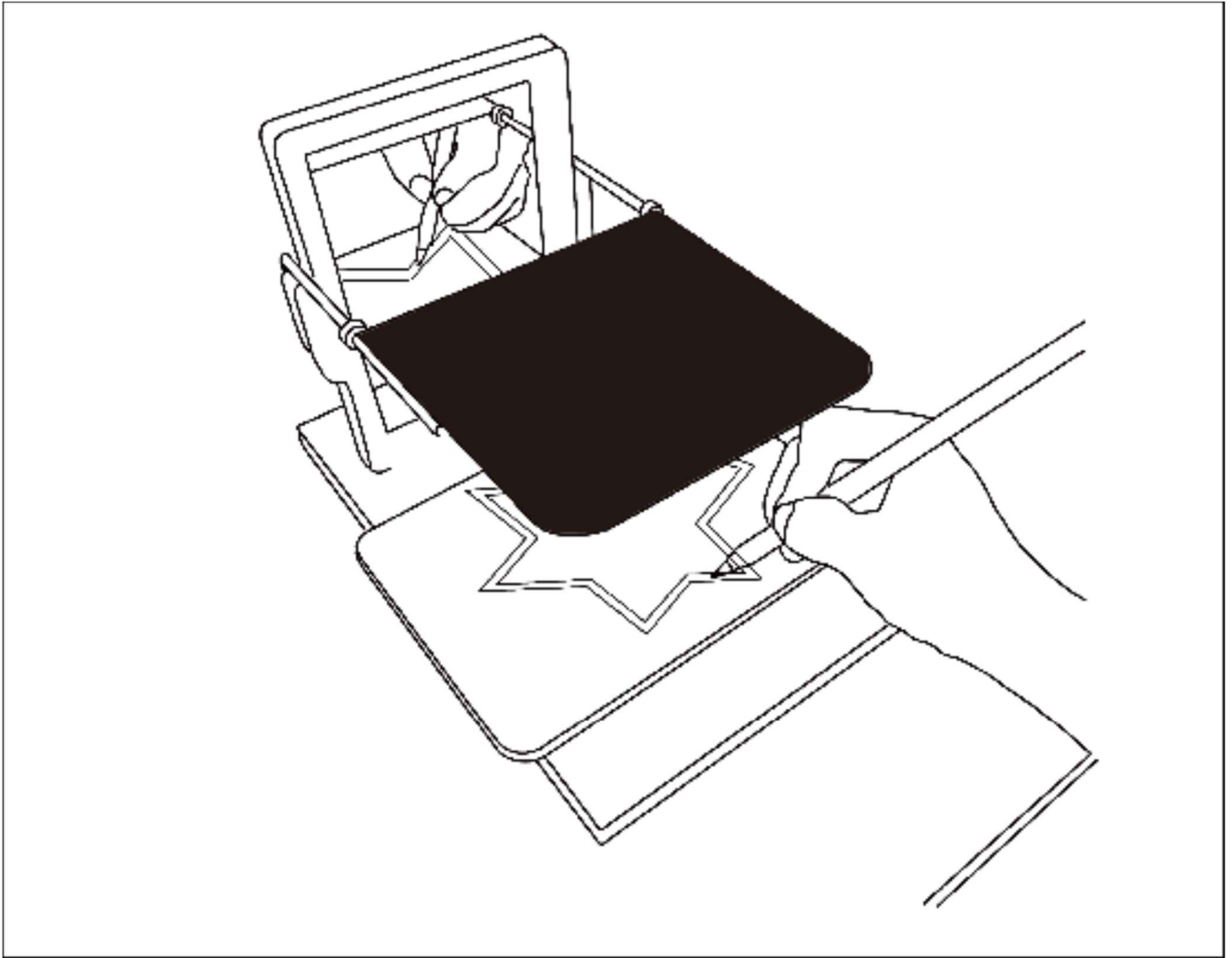


図1 実験の様子 実験参加者は、鏡に映ったお手本の星型図形をペンでなぞりました。このとき、腕の上には黒い板状のカバーが設置されており、自分の手元やペン先は直接見えないようになっています。しかし、鏡越しには、お手本の図形とともに、自身の手やペン先が映って見えるようになっています。ここで重要なのは、鏡に映る像では左右の動きは正しく対応する一方で、前後の動きが逆転して見える点です。そのため、前に手を動かしたつもりでも、鏡の中では後方（奥）へと動いて見えるといった、視覚と運動の不一致が生じます。このような特殊な視覚条件下でなぞられた筆跡について、ペン先の座標を刻一刻コンピュータに記録しました。

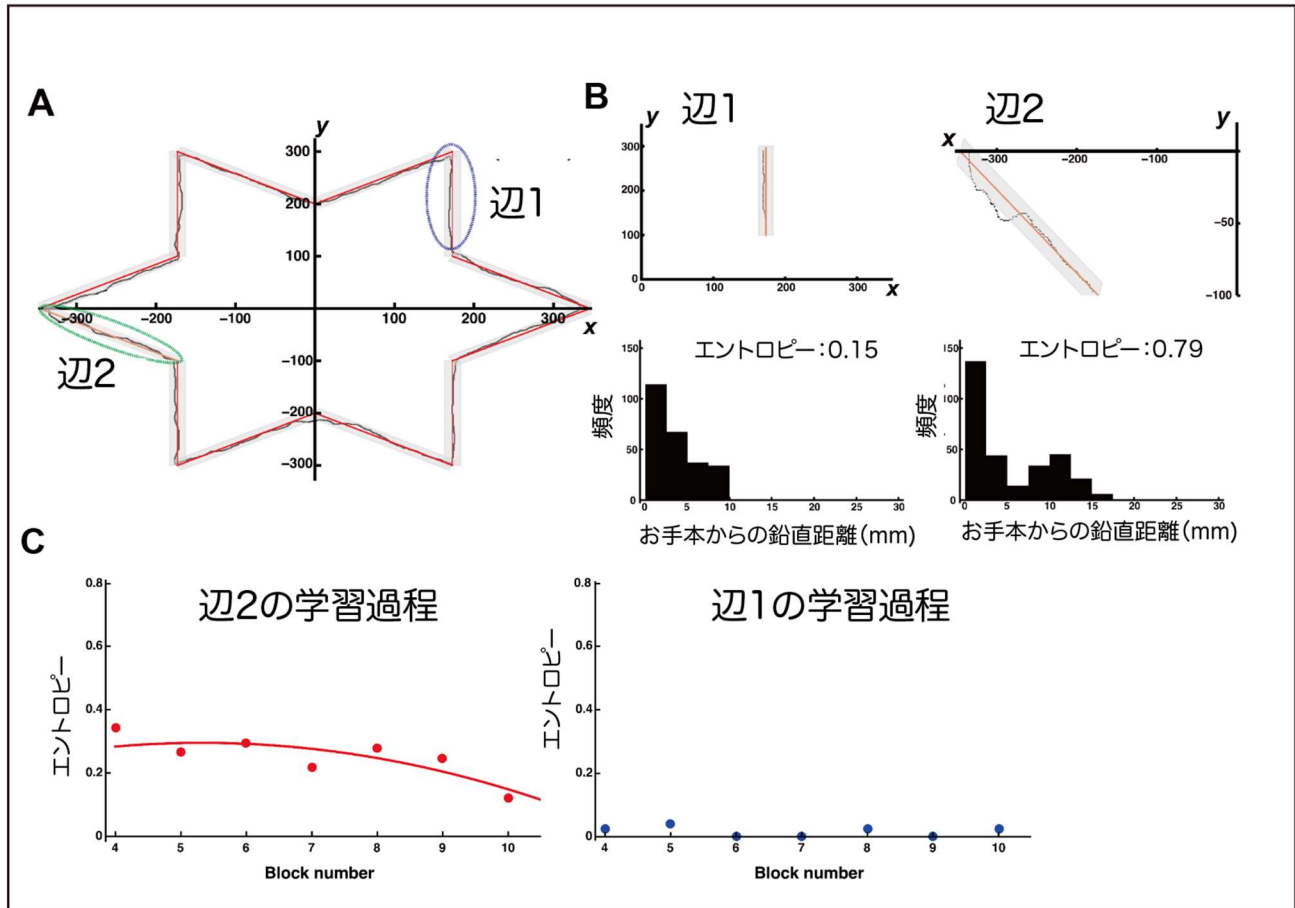


図2 実験結果 A：全体の筆跡の代表例を表示。辺1（非干渉部）は反転後でも容易に書けますが、辺2（干渉部）は混乱を生じやすく、難易度が高くなります。B：辺1と辺2の筆跡を拡大し、赤線の“お手本”からの距離の分布をヒストグラムで表現。筆跡の乱雑さをエントロピーとして定量化しました。C：10試技ごとのブロックに分け、各辺のエントロピー変化を追跡。干渉部では学習初期にエントロピー値が高く、ばらつきが大きかったものの、反復練習により安定性が向上し、エントロピーは徐々に減少しました。

今後の展開

本研究で確立したエントロピー解析手法は、筆跡運動にとどまらず、微細運動や全身運動を対象とした学習過程分析にも応用可能です。今後は、異なる運動課題への拡張などを通じて、人間の運動学習メカニズムのより深い理解に貢献していきます。また、リハビリテーション支援や技能トレーニング、スポーツパフォーマンス向上、AI・ロボティクスにおける運動学習モデル構築など、多岐にわたる応用が期待されます。

用語解説

エントロピー：情報理論で定義される「乱雑さ（ばらつき）」の指標で、観測されたデータの確率分布から計算されます。値が大きいほどデータにばらつきがあることを意味します。本研究では、筆跡がお手本からどれだけずれているかを距離のヒストグラムとして集計し、そこから確率分布を求め、エントロピーを計算しました。これにより、筆跡の不安定性や未習熟度を客観的に数値化する指標として用いることができました。

【論文情報】

雑誌名: *Entropy*, 27(5), 484. doi: <https://doi.org/10.3390/e27050484>

タイトル: Unveiling Learning Strategies in the Mirror-Drawing Task: A Single-Case Study of Movement Stability and Complexity Using Entropy.

著者: Murakami H., Yamada N.

研究内容に関するお問い合わせ先

中京大学スポーツ科学部 教授 山田憲政

TEL : 052-835-7111(代表)

E-mail : nyamada@sass.chukyo-u.ac.jp

本報道に関するお問い合わせ先

金城大学 総務企画部

TEL: 076-276-4400

E-mail: souki@kinjo.ac.jp

中京大学 広報課

TEL : 052-835-7135

E-mail : kouhou@ml.chukyo-u.ac.jp