機械学習と画像生成 AI を活用した鉄器実測図の生成

課題と本研究の目的　実測は写真と並んで考古資料の報告・資料化の主要な手法の一つとして一般的に採用されてきた。近年、三次元計測の高速化・低廉化にともない、三次元計測と画像処理による資料化も報告手法として取り入れられつつあり、新たな手法の導入による一層精緻かつ効率的な遺物情報資料化の普及と研究の進展が期待されている。

一方で三次元計測による表面情報取得による資料化の精緻化・効率化のめどがたたない資料も存在する。その一つが遺跡出土の鉄器である。鉄器は出土時には錆に覆われて本来の形態をとどめないことが一般的で、現状の表面形態のみを計測し図化しても資料の本質的な理解につながらないことも多い。そのため表面形態の図化のみならず本来の形態を復元的に表示する形で実測図を作成し、資料化することが今日多くおこなわれている。

こうした鉄器の実測方法はＸ線画像やさらにはＸ線CT画像なども活用しつつ鉄器本来の形態を「見抜く」ことで実施されるが、本来の形態を「適切に見抜く」には鉄器の観察・資料化の経験が相応に必要である。適切な資料化のためには十分な経験を有した者による図化が前提となり、そうした経験知の次世代への継承は今後も適切な資料化を果たしていくうえで課題となっている。

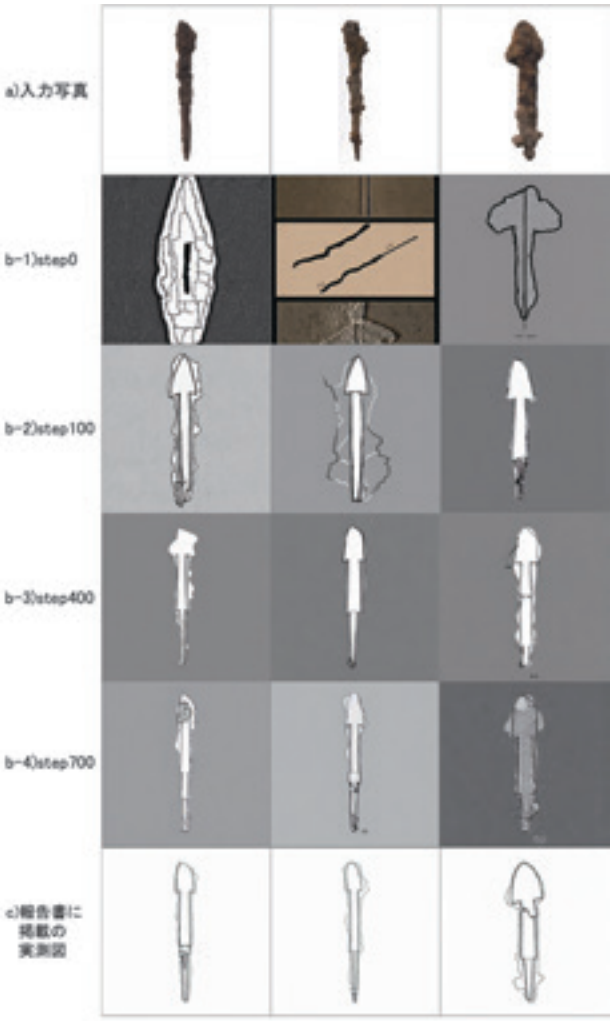
そこで本研究ではコンピュータによる実測図の機械学習をおこない、それをもとに画像生成AIを活用した鉄器の資料化を試みた。その目的は鉄器実測の経験知を集積するとともに、それにもとづいて将来的に活用可能な効率的・効果的な資料化方法を検討することである。

検討対象　本研究では鉄器の実測図と写真を機械学習させ、新たな鉄器の写真から画像生成AIを用いて実測図を作成することを試みた。検討対象として鉄器が多く出土しており、かつ網羅的なＸ線画像撮影も実施され、報告書において多数の実測図が提示されている事例である奈良県五條猫塚古墳出土鉄器をとりあげた[1)]。さらにそのうちでも外形にバリエーションがあり、生成された画像の精度検証が可能な器種として鉄鏃を今回の検証の対象とした。

実測図と写真の学習対象としたのは報告書において短頸三角式としたもの６点である。学習の対象外とした同型式の写真および他型式の写真により実測図の生成を試み、その精度の検証をおこなった。　**（川畑　純）**

検討手法　本研究では近年著しい進化を遂げているディープラーニング技術を用いた画像生成手法であるDiffusion Modelおよびその条件付け生成手法であるControlNetを利用した。これらを利用し鉄器の実測図と写真を学習させ、実測図作成ノウハウをAIモデルに学習させることを試みた。

Diffusion Modelには、オープンソースであることから様々な産業で活用されているStable Diffusionを用いた。ControlNetをStable Diffusionに適応すると、テキスト入力に加えて、画像や棒人間など多様な入力を使用して、



aの写真を入力として、学習回数の異なる4つのモデルで生成された実測図(b-1～4)。cは報告書に掲載された実測図。

図32　学習回数による生成画像の変化

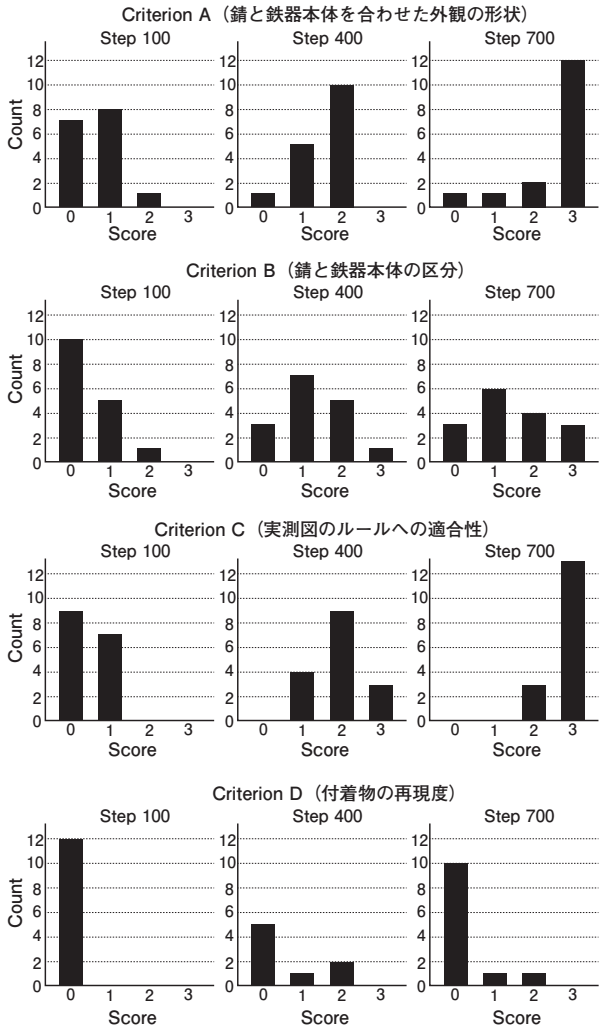


図33　学習の進捗と評価

図34　学習データに含まれない型式での生成結果

生成結果を制御することができる。そのため鉄器の画像による条件づけをおこなうことで、実測図の生成に活用できると考えられる。

研究の結果　生成結果から、学習回数に応じて資料の外形描画能力の向上が認められるとともに、線の太さの描き分けなど実測図作成のルールにもとづいた生成が可能になったことが確認された（図32）。「A錆と鉄器本体を合わせた外観の形状」、「B錆と鉄器本体の区分」、「C実測図のルールへの適合性」、「D付着物の再現度」の四つの項目で、それぞれ4段階で定量評価をおこなった結果、学習が進むにつれて「A錆と鉄器本体を合わせた外観の形状」と「C実測図のルールへの適合性」の向上が顕著に確認された（図33）。一方「B錆と鉄器本体の区分」や「D付着物の再現度」は低評価のものもみられた。ただし本体の形を推測できているとみられるものもあり、モデルが鉄鏃の形状に関する知識を獲得し、写真から内部構造を推論している可能性を示唆している。なお学習データに含まれない型式の鉄鏃ついては、学習データにある型式の特徴を外挿した図が生成される現象がみられた（図34）。　**（千葉駿介／東京大学工学系研究科）**

まとめと展望　出土鉄器の資料化方法の一つとして実測図作成の自動化を目指し、Diffusion Modelおよびその応用手法であるControlNetを用いた新たな実測図作成自動化プロセスを提案した。研究の結果、外形描画能力の向上や実測図作成のルールへの適合性の向上が認められるなど本研究が目的とする実測図の自動生成に向けた有望な結果を得たが、まだまだ検証すべき点も多く、実用化に向けては解決すべき課題が数多く存在する。

本研究では入力に写真を用いたが、資料の形態を精確に表現するにはオルソ画像等の利用が必須であり、それらを利用した手法の検討が必要である。写真の印影表現やコントラストの影響等も検証も必要である。また型式や器種が異なる大規模なデータセットを用いて、汎化性能を評価する必要がある。将来的には操作可能なアプリケーションの開発の開発をおこない、実際の現場での試験導入からフィードバックを得ることも導入に向けて必要なプロセスである。　**（川畑・千葉）**

註

1）吉澤悟・川畑純・初村武寛『五條猫塚古墳の研究』報告編　奈良国立博物館、2014。