

デジタルX線ラジオグラフィ —CR法による出土遺物への応用—

はじめに 出土遺物の内部構造調査は、従来からX線透過写真法によるアナログ画像の解析によっておこなわれてきた。近年、デジタルX線ラジオグラフィが開発され、X線CT法やCR法が文化財分野にも利用されつつある。

CR (Computed Radiography) は、従来のフィルムに代わり放射線エネルギーメモリ型二次元センサーとしてイメージングプレート (IP) を検出系に利用する方法で、エネルギーサブトラクションが可能で、フィルム法に比べてダイナミックレンジが大きく、かつ感度が100倍以上向上したため、小線量で、かつ短時間での撮影が可能となり、遺物に与える影響がほとんど無視できる。本報告では若干の実験と、出土遺物への応用を試みたので報告する。

CR装置について 実験に使用した装置は、X線拡大撮像システム (μ FX-1000) とイメージング・アナライザー (IP読み取り装置: BAS-5000) で構成する。画像の構築には、被写体試料にX線を照射してIPに蓄積したエネルギーをレーザー照射励起 (He-Neレーザー: $632.8\text{nm}^{1)}$) によって輝尽発光 (PSL) させ、それを光電管 (PMT) で検出して電気信号に変換 (log amp) した後、A/D変換してデジタルデータとして画像を構築する方法である (図15)。なお、X線拡大撮像システムは実効焦点が $8\mu\text{m}^{2)}$ の超微焦点管を使用しているため、最大で10倍率の拡大が可能である。

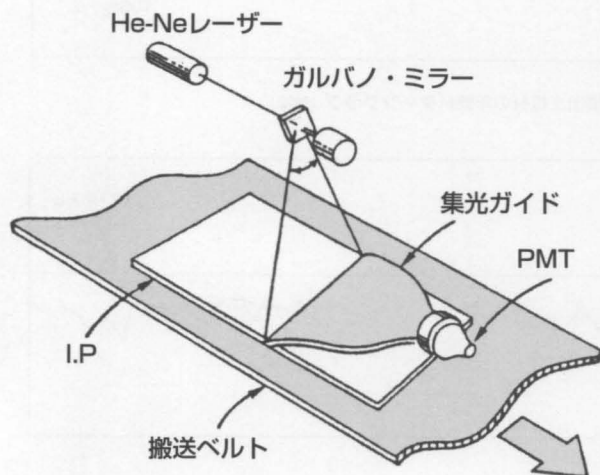


図15 I.P.から画像情報の読み取り方法 (宮原淳二 1987)

実験の方法と試料 まず、X線テストチャート (JIS・M-4Au30R相当) を用いて、フィルム法とCR法における空間分解能を比較した。フィルム法は密着撮影、CR法は拡大倍率10倍で画像の構築をおこなった。次に、IP.の特性を知るため被写体物質の厚さとPSL値³⁾の関係を調べ、さらに厚さが一定で異なる材質の試験体を使用して、物質密度とPSL値の関係を調べた。出土試料への応用として、根来寺御院跡出土金製飾り金具、ガラス小玉についての構造調査とその図化をおこなった。

結果と考察 X線テストチャートを利用して分解能を調べた結果、テストピースを密着してフィルムに撮影したものを拡大した画像と、CR法 (10倍拡大) によって撮影したものを比較したところ、フィルム法では $50\mu\text{m}$ 間隔のスリットが識別できなかったが、CR法ではその間隔は明瞭に識別され、ほぼ $10\mu\text{m}$ 程度の物質の識別が可能で、微小な遺物の構造調査には十分な分解能が得られることを示した。

図16は、同一物質における被写体物質の厚さとPSL値の関係を示したものである。PSL値は照射線量に換算されているので、X線強度の関数として考えることができる。いま、同一材質で厚さ t を透過したX線強度を I とすると、厚さ t とX線強度 I の間には $I = I_0 \text{EXP}(-\lambda t)$ が成り立つ (I_0 は t が0の場合のX線強度、 λ は減弱係数)。鉄を用いた試料厚さとPSL値の間には $f(x) = 87.4 \cdot \text{EXP}(-0.9 \cdot x)$ となる関係式が成り立った。これらの結果から、同一材質であれば、標準試料校正によって厚さを求めることも

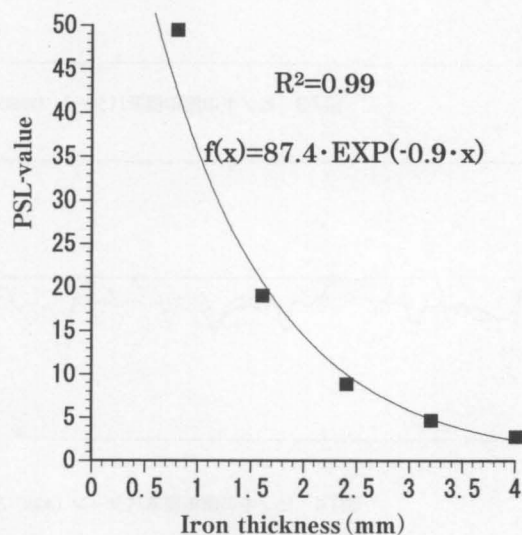


図16 被写体厚さとPLS値の関係

可能であることを示した。ただし、試料の厚さがある範囲内でないとその精度は悪くなることも同時に示した。しかし、定性的に同一材質の物体の厚さ変化を画像上でとらえることは容易にできる。その例として根来寺御院跡出土金製飾り金具 (Au:85-86wt%, Ag:14-15wt%) のCRイメージを図17に示した。フィルム法では濃淡の識別が困難であったが、CR法による画像処理において厚さが不均一であることが明瞭にとらえられた。特に、蟹の右手足部分は顕著に厚さの変化が示されている (肉眼的観察では識別不可能)。

図18は同一厚さ物体における物質密度とPSL値の関係について調べたものである。同一厚さであれば、PSL値の測定から密度を計算して、物質の同定が可能であることを示しているが、複雑な要素をもつ文化財資料に応用するには多くの問題点をかかえていることも事実である。

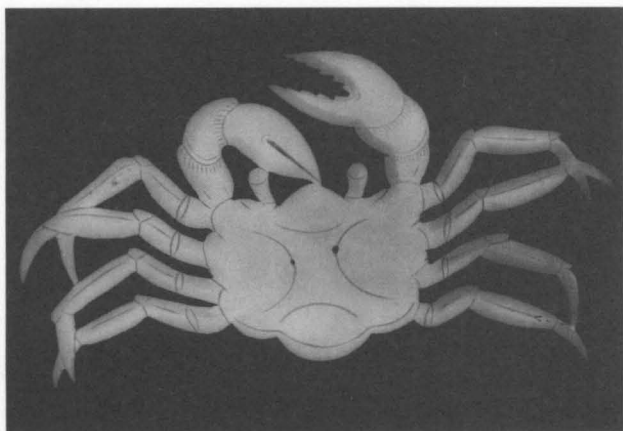


図17 根来寺御院出土金製飾り金具

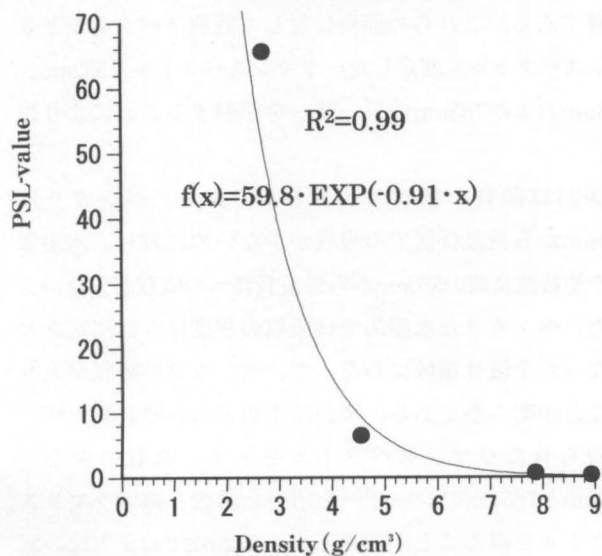


図18 物質密度とPSL値の関係

材質の推定は、物質の厚さに関わりなく物質密度の測定が可能なX線CT法のほうがはるかに有利である。

図19、図20はガラス小玉 (古墳時代) を撮影した一例である。金層ガラス (約5mm径) は、二重のガラス管によって作られており、内側のガラス層に残存する気泡の軌跡から製作技法の解明が可能となる。また、微小な小玉 (径: 1mm、長さ: 1.5mm) もガラス管を引き伸ばして、それを切断して製作されたことが明瞭にとらえられた。いずれも日本で出土するインドパシフィック系ビーズの特徴を示している。

(肥塚隆保)

- 1) 1nm (ナノメートル) = 1/1,000,000mm
- 2) 1μm (マイクロメートル) = 1/1,000mm
- 3) PSL値: イメージング・アナライザーにより対数値で読み取られた画像データを諧調分割した値をQL値と言い、このQL値をもとに感度・ラチチュード・諧調 (bit数) を設定して演算をおこない直線的な関係に戻した値。

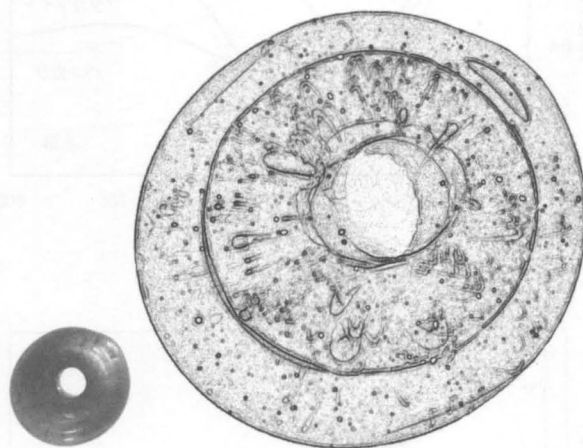


図19 金属ガラスとそのCR画像
(CR画像をもとにエッジ検出処理により画像を再構築)

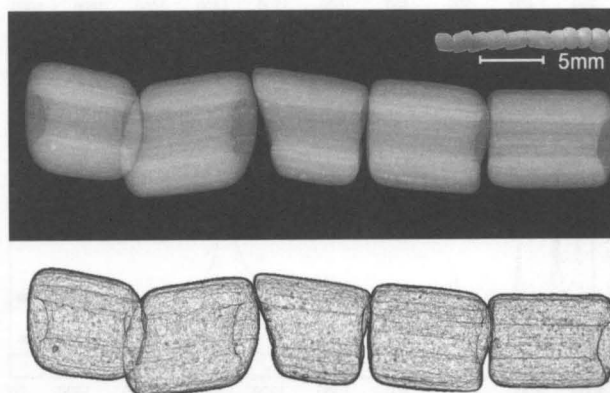


図20 微小なガラス小玉のCR画像 (拡大)