

# 南イタリアにおけるフレスコ壁画の微細表面形状の記録 —顕微画像の走査イメージングと立体表示—

真田茂\*

## Archiving of the Microscopic Surface Configuration of Fresco Wall Paintings in Southern Italy: Microscopic Scan Imaging and Stereoscopic Display

Shigeru Sanada\*

We performed a survey of indoor and outdoor fresco wall paintings in Gravina, southern Italy, between 8 and 16 September 2011. Macroscopically, the paintings under protected conditions indoors tended to be better preserved compared to those exposed to the outdoor environment. Microscopically, the preserved paintings of indoors were shown to have a surface coating of a protective material, such as resin. It was also suggested that the order of drawing from the wall to the surface layer was red, blue-purple, and white. Therefore, evaluation of the microscopic surface configuration is a crucial tool for digital archiving for diagnosis and restoration of fresco wall paintings, especially in investigation of the drawing technique.

**Key Words:** fresco painting, 3-D imaging, microscopic imaging, digital archive

**キーワード:** フレスコ壁画, 立体イメージング, 顕微イメージング, デジタル画像保管

### 1. はじめに

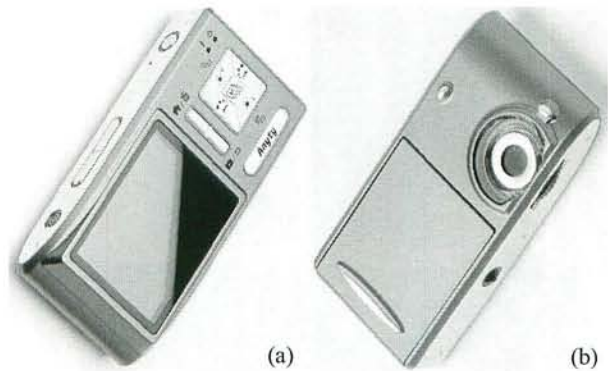
壁画の彩色材料と彩色技法の調査・研究のために、顕微鏡観察がしばしば行われている<sup>1,2)</sup>。また、高倍率の電子顕微鏡によるさらに微視的な壁画表面の形状分析についても報告されている<sup>3)</sup>。

今回、筆者らはデジタル顕微鏡カメラを用いてフレスコ壁画の表面形状について、微視的に調査した。特に保存的環境にある壁画と屋外に放置された壁画における損傷の程度の比較検討、彩色材料の重なり方などの描画方法の検討を行ったので報告する。

### 2. 使用機材と調査対象の壁画

#### 2.1 デジタル顕微鏡カメラ

デジタル顕微鏡カメラは、R200 Digital Mobile Microscope (スリーアールシステム社製、福岡市)を用いた (Fig. 1)。イメージセンサーは約 200 万画素の CMOS センサー、倍率は 10 ~ 200 倍、光源は高照度白色 LED の仕様である。なお、今回の調査では光学的に約 10 倍の設定で使用した。



**Fig. 1** Digital mobile microscope.  
(a) LCD side, (b) Object lens side.

#### 2.2 調査対象の壁画群

グラヴィーナ市内から半径約 1 km 以内に散在する 3 か所の壁画群を調査対象とした。グラヴィーナ市街に在る博物館 (Fondazione) と、そこに移設されて保護されている壁画が元々描かれていた 2 か所 (Sito originale および Padre Eterno) の洞窟である。

まずは、Fondazione 博物館内には大部屋と小部屋があり、それぞれ Sito originale と Padre Eterno に在った壁画が移設されている。大部屋では、正面のキリスト像の左手傍ら (向かって右側)

\* 医薬保健研究域 保健学系  
フレスコ壁画研究センター

\* Institute of Medical, Pharmaceutical and Health Sciences,  
Faculty of Health Sciences  
Research Center of Italian Mural Paintings

の天使像と、右側壁の1人の聖人像を対象とした (Fig. 2, 3).  
いずれも、その保存状態や芸術的価値を鑑みて、金沢大学フレスコ壁画センターにおける復元模写の対象となった壁画である。



**Fig. 2** Large room facing to altar in Fondazione.  
(Preserved fresco paintings moved from Sito originale.)



**Fig. 3** (a) An angel on Christ's left side,  
(b) A saint on Christ's left side wall.  
(Superimposed markers are on postures of imaging.)

中央の聖人を調査対象とした (Fig. 4). これも、復元模写の対象となった壁画である。

一方、Sito originale と Padre Eterno の洞窟には、一部、Fondazione 博物館へ移設されずに残された壁画が現存する。Sito originale に残された部分は、Fig. 2 中、向かって左側の一番手前の聖人の足元に相当し、約 30 cm×20 cm 程度の領域である (Fig. 5). Padre Eterno に残された壁画は比較的大きく、祭壇と思われる場所の左側に隣接する聖人の像である (Fig. 6). このように、Padre Eterno に残された部分が大きいのは、おそらく Fondazione 博物館への移設時 (1968 年当時) には既に壁画の損傷の程度が酷かったためであると考えられる。



**Fig. 4** (a) Small room in Fondazione (Preserved fresco paintings moved from Padre Eterno), (b) A saint of middle.  
(Superimposed markers are on postures of imaging.)

また、小部屋では3聖人の像のうち、比較的保存状態の良い



Fig. 5 Residual part of paintings at Sito originale.

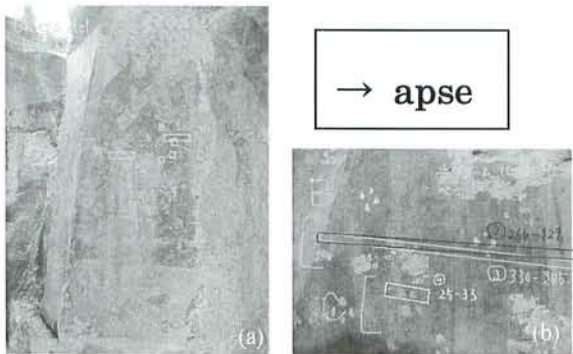


Fig. 6 (a) Residual painting of saint in Padre Eterno,  
(b) Close-up image of saint.  
(Superimposed markers are on postures of imaging.)

### 3. 顕微イメージング

デジタル顕微鏡カメラによる壁画イメージングは、壁画に対して非接触または必要に応じて透明シートを介して行った (Fig. 7)。また、壁画上の連続した筆のタッチ、彩色の境界、複雑な描画部分などの注目すべき領域を対象として、移動距離 20mm~50 mm 程度の範囲を約 1mm 間隔で走査イメージングを行った。これらの走査イメージングにおける隣接する 2 枚の顕微画像対は、それぞれ立体表示も可能である。



Fig. 7 In-situ microscopic imaging (left) and recording their location data (right).

## 4. 顕微画像の所見

### 4.1 博物館内と元の洞窟の壁画の相互比較

Fondazione 博物館内は、空調などで壁画の保存に適切な環境が保たれている。しかし移設の際、Sito originale や Padre Eterno に残された壁画の一部は、直接の風雨に晒されることは少ないが、寒暖の差や多湿の劣悪な環境下にあった。肉眼的にも、その 2 つの環境下での損傷の程度は明らかに違う (Fig. 8)。屋外に放置された壁画は、博物館内で保存された壁画に比べて彩度が褪せており、壁画表面の剥落も酷い。

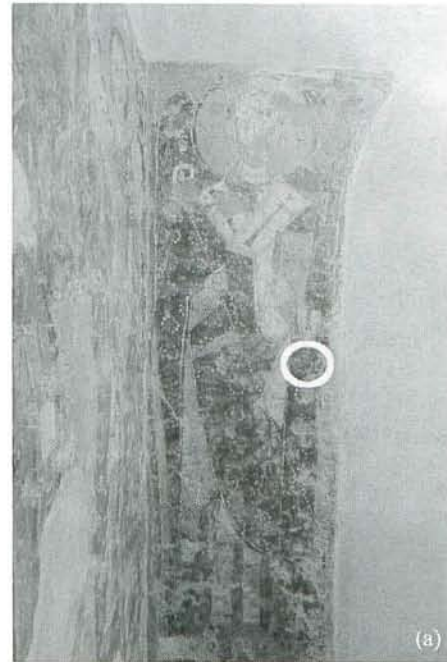


Fig. 8 (a) Preserved paintings of saint in Fondazione's small room, (b) Residual painting of saint in Padre Eterno.  
(Markers are on postures of microscopic imaging. Those paintings used to be closely existed.)

また、それらの顕微画像を比較すると、特に青紫色系が剥げ落ちて色褪せていることが分かる (Fig. 9)。あらためて壁画の全体像を観察すると、博物館内で保管されている壁画の方は青紫色系（一見、黒系）が比較的鮮明なために、良好なコントラストを呈している (Fig. 8 (a))。

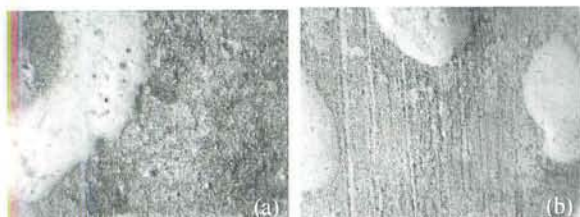


Fig. 9 (a) Microscopic image of preserved paintings, (b) Microscopic image of residual painting in rough environment.

#### 4.2 保護コーティングの有無

博物館内の壁画は、ある種の樹脂の保護膜によってコーティングされている。Figure 9(a)および(b)の比較でも分かるが、(a)には最上層に塗布された保護膜の光沢がわずかに観察できる。Sito originale から博物館大部屋に移設された天使像の顕微画像もその傾向があった (Fig. 10, 11)



Fig. 10 (a) Macroscopic image of preserved painting of angel, (b) Close-up image of the region of marker on (a).



Fig. 11 Microscopic image of marker on fig. 10(b). Glossy protective membrane was coated on top layer.

しかし、かびや褪色、さらに表層の剥落を防止するための保護膜のコーティングには注意が必要とされている<sup>4)</sup>。すなわち、経年損傷の防止に効果的であることや、元の壁画を侵襲しないことなどがコーティング材料やコーティング技法に求められる。博物館内の壁画の保存状態が良いことを鑑みると、この保護コーティングは成功していると考えられる。しかし、Fig. 11の中央部から下方にかけての青紫色系の部分に、白い繊維状のものが塗り込められているような形跡がある。同様な箇所が他にも散在しており (Fig. 14)、コーティングの際にもう少し注意が必要だった可能性はある。

#### 4.3 彩色材料の重なり方（描写法の推測）

彩色材料がどのように層状に塗られているかは、描写方法を推測するうえで極めて重要である。顕微画像でも立体構造はある程度は把握できるが、次項で述べる立体表示により、さらに明瞭に表面形状の立体構造が明らかとなった (Fig. 12, 13)。すなわち、最下層の壁面から壁画表面に向かって、赤茶系色、青紫色系色、そして白色の順に層を成していることが明らかである。さらに白色の塗料は、その盛り上がりを見ると、おそらく粘稠度の高い彩色材料であったことが推測される。



Fig. 12 Close-up image of middle of saint on Fig.3 (b).

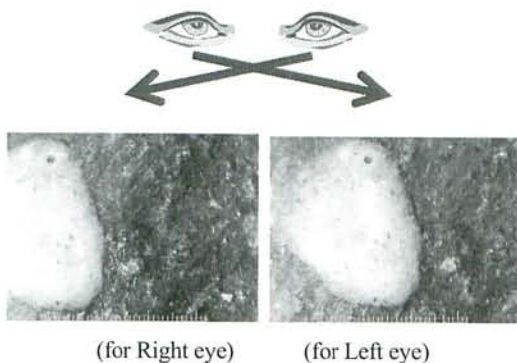


Fig. 13 Stereo images arranged at crossing method of upper anterior chest of saint. (marker No.8 on fig.12)

この聖人の頭部は復元模写の対象であり、描写方法を模倣する上で顕微画像およびその立体表示は有用であった。

### 5. 顕微画像の走査イメージングと立体表示

前述したように (3. 顕微イメージング), 長さ 50mm 程度の帯状の関心領域について, 約 1mm ずつカメラを横に移動させて走査イメージングを行った。たとえば, Fondazione 博物館の大部屋正面の後陣右下に描かれている天使の顔について, 赤みがかった頬から白く描かれている鼻まで約 20mm の範囲を連続撮影し, 後でその 20 枚の顕微画像を合成した (Fig. 14)。合成画像によって, 微視的な視野の狭い局所だけの観察ではなくて, 比較的広い領域を観察できるために描写方法などについて検討しやすい。Figure 14 のほぼ中央付近の顕微画像の, さらに中央に上下方向へ延びる白色点状の線が視認できる。これは最上層の白色塗料の下の状態を反映しているように見える。すなわち, 下書きの痕跡かもしれない。下書きからは画家の制作過程を垣間見ることができる。



Fig. 14 Synthesis microscopic image of the region No.3 on fig. 3(a) consisted of images by sequential scan imaging.

一方, 劣悪な環境下に晒された Sito originale の残存部分 (Fig. 5) の一部を同様に合成したものを Fig. 16 に示す。また, Fig. 16 の中央左側部分の顕微画像を Fig. 17 に示す。これを観ると, 表面全体に白色の析出物が視認できる。漆喰が空気中の CO<sub>2</sub> と反応して析出した CaCO<sub>3</sub> と見られるが, さらに化学的な分析調査が必要である。いずれにしても, 本来の色彩がほとんど顕れずに, 白い析出物質に表面のほとんどが覆われている。Fondazione 博物館内に保存されている壁画と比べると, Sito originale の壁画は腐朽の一途を辿っている。ただし, 同様に屋外の環境下にあっても Padre Eterno の壁画には白い析出物質は

観察されなかった。温度, 湿度など個々の条件の差によって, 損傷の程度も態様も違うものと考えられる。

Figure 14 と 16 は, それぞれ 20 枚, 14 枚の顕微画像を約 1mm ずらして位置合わせして重ね合わせている。すなわち, 隣接する画像対をそれぞれ右目用画像と左目用画像として立体表示することによって, 壁画表面の明瞭な立体構造が視認できる (Fig. 13)。たとえば, 市販の 3D ディスプレイまたはステレオフォトメーカなどのソフトウェアを用いることによって, 簡単に立体走査動画として観察できる。



Fig. 15 Microscopic image of the middle of fig. 14. This is a part of nose boundary (small white dots in line) of No.3 on fig. 3(a).



Fig. 16 Synthesis microscopic image of the residual part at Sito originale consisted of images by sequential scan imaging.

### 6. まとめ

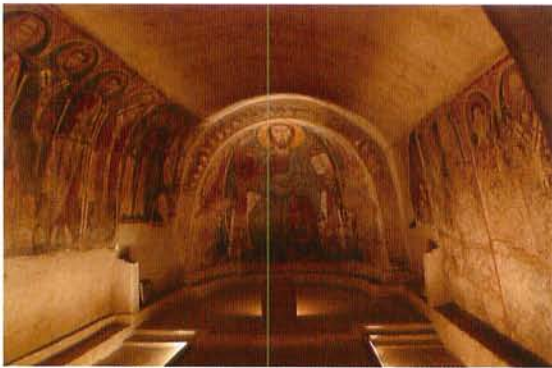
南イタリアのグラヴィーナ市に散在する洞窟壁画を調査した。主なものは博物館に移設されて良好な保存状態にあるが, 一部の洞窟に現存しているものもあり, それらを比較検討した。肉眼的にも顕微画像による微視的にも, 観博物館に移設された壁画は損傷が少なく良く保存されていた。また, それらには樹脂と思われるコーティングが施されていた。また, 顕微画像によれば, 壁面から壁画表面へと, 茶・赤系, 青・緑系, 白色の塗料の順に塗り重ねられていることが明瞭に観察できた。顕微イメージングによる壁画表面の観察は, 壁画の損傷程度の評価や描写方法の調査に有用であった。なお, 歴史的文化財である壁画に対して, 非接触で精度の良い顕微イメージングを行うためのシステムを, 現在, 当センターで開発中である。

## 謝辞

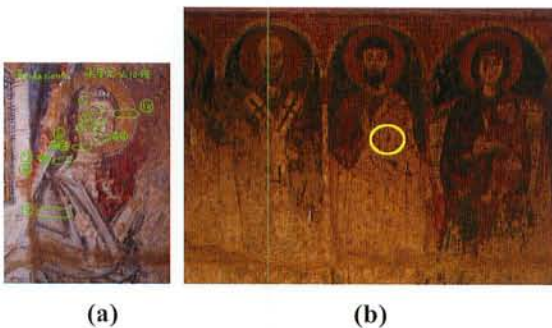
本研究を推進してこの報告を纏めるにあたり、多大なご協力をいただきました金沢大学人間社会学域人文学類（B4）の木村仁美氏に深謝いたします。

## 参考文献

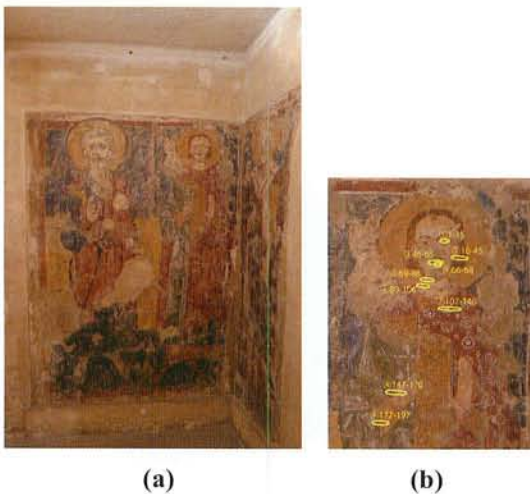
- [1] 高林弘実, 小瀬戸恵美, 于宗仁, 他: [報文] 敦煌莫高窟第 285 窟壁画に使用された彩色材料の非接触分析. 保存科学 47: 89-101, 2008
- [2] 大場詩野子, 大竹秀実, 高林弘実, 他: [報告] 敦煌莫高窟第 285 窟壁画の保存状態. 保存科学 48: 99-107, 2009
- [3] 佐野千絵, 早川泰弘, 三浦定俊, 他: [報告] 国宝高松塚古墳壁画の材料調査の変遷. 保存科学 48: 119-131, 2009
- [4] 木川りか, 佐野千絵, 高鳥浩介, 他: [報告] 高松塚古墳石室内・取合部および養生等で使用された樹脂等材料のかび抵抗性試験. 保存科学 49: 61-70, 2010



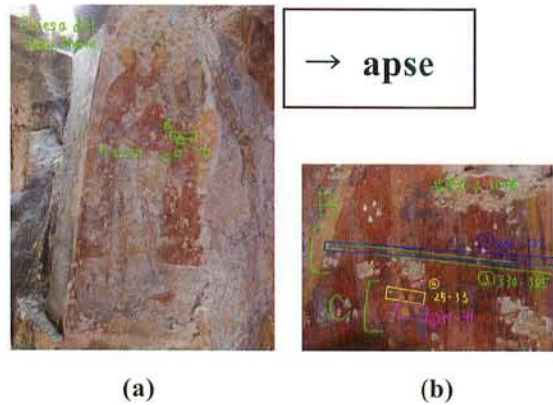
**Fig. 2** Large room facing to alter in Fondazione.  
(Preserved fresco paintings moved from Sito originale.)



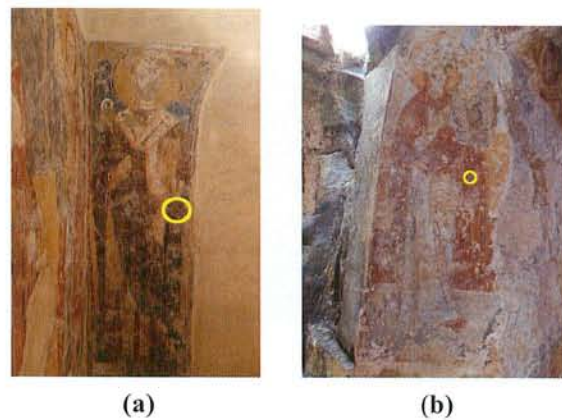
**Fig. 3** (a) An angel on Christ's left side, (b) A saint on Christ's left side wall. (Superimposed markers are on postures of imaging.)



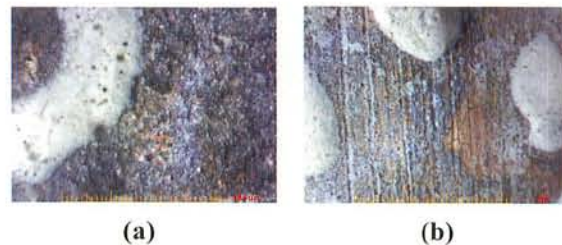
**Fig. 4** (a) Small room in Fondazione (Preserved fresco paintings moved from Padre Eterno), (b) A saint of middle. (Superimposed markers are on postures of imaging.)



**Fig. 6** (a) Residual painting of saint in Padre Eterno, (b) Close-up image of saint.  
(Superimposed markers are on postures of imaging.)



**Fig. 8** (a) Preserved paintings of saint in Fondazione's small room, (b) Residual painting of saint in Padre Eterno. (Markers are on postures of microscopic imaging. Those paintings used to be closely existed.)

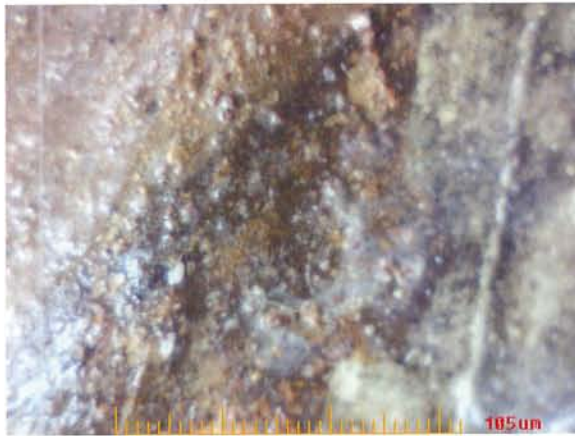


**Fig. 9** (a) Microscopic image of preserved paintings, (b) Microscopic image of residual painting in rough environment.



(a) (b)

**Fig. 10** (a) Macroscopic image of preserved painting of angel, (b) Close-up image of the region of marker on (a).



**Fig. 11** Microscopic image of marker on fig. 10(b). Glossy protective membrane was coated on top layer.



(for Right eye) (for Left eye)

**Fig. 13** Stereo images arranged at crossing method of upper anterior chest of saint. (marker No.8 on fig.12 )



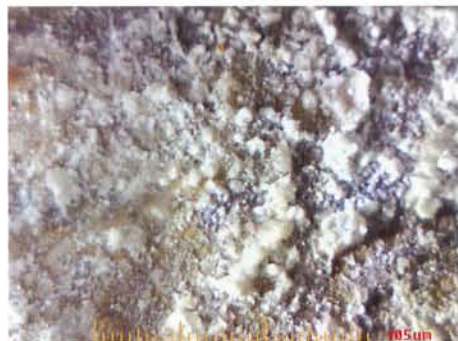
**Fig. 14** Synthesis microscopic image of the region No.3 on fig. 3(a) consisted of images by sequential scan imaging.



**Fig. 15** Microscopic image of the middle of fig. 14. This is a part of nose boundary (small white dots in line) of No.3 on fig. 3(a)



**Fig. 16** Synthesis microscopic image of the residual part at Sito originale consisted of images by sequential scan imaging.



**Fig. 17** Microscopic image of the left region of middle of fig. 16. Whole surface are covered by white precipitation ( $\text{CaCO}_3$  ?)