

壁画デジタル・アーカイブ(電子カルテ)システム — 診断調査と記録保存の方法 —

宮下孝晴^{*1,*2}, 宮下明珠^{*2}

Digital Archive System for Mural Paintings

Methods of Record and Examination Survey

Takaharu Miyashita^{*1,*2} and Mitsumi Miyashita^{*2}

We proposed new digital archive system for mural paintings which has characters of general digital archive and medical records. With this system, we believe that the data can be used not only for passing to next generations but also for decision making for priority ranking of restoration and conservation. To build this system, the methodology of examination survey was established based on non-destructive and non (less)-contact measurements as our fundamental rule. As a measurement tool, iPad settled in the center of our system, and made it possible to collect, analyze and record data in real time.

Key Words: digital archive, medical records, iPad, methodology for examination survey

キーワード: デジタル・アーカイブ, 電子カルテ, iPad, 診断調査の方法

1. 文化財としての「壁画デジタル・アーカイブ」の 新しい形

本プロジェクトでは、壁画をデジタルデータとしてアーカイブするほか、同時に壁画の劣化・損傷状態を診断して記録することを目的としている。これは「人間ドック」で人が総合的かつ精密な健康診断を受け、健康状態をカルテに記録して健康度をチェックするのと同じである。また、それを定期的に行ってカルテに記録することで、潜在的な病気＝劣化を早期発見に役立ったり、健康維持のための生活＝環境の改善に取り組んだりする点でも予防医学の発想と同じである。従来の文化財デジタル・アーカイブの役割に加え、医療における電子カルテの考え方を参考に、「動けない絵画」である壁画という特殊な文化財における新しいシステムを形成したいと考えている。

1.1 一般的デジタル・アーカイブシステム

【意味】博物館、美術館、公文書館や図書館の収蔵品をはじめ、有形・無形文化資源等をデジタル化して記録保存すること。

*1 人間社会研究域 歴史言語文化学系

*2 フレスコ壁画研究センター

*1 Institute of Human and Social Sciences,
Faculty of Letters

*2 Research Center of Italian Mural Paintings

【意義】時間の経過とともに劣化や損傷が進む歴史的な文化財、また伝統芸能や伝統技術などの無形文化財をデジタル映像で記録して後世に継承する。

【効果】

(1)資料の破損・劣化防止

資料をデジタル化することにより、貴重資料の破損を恐れることなくデジタルデータを利用者に提供できる。これまで原資料を保護するために制限が付されている複写についても、コンピュータを用いてのデータ提供ができる。

(2)新しい表現の実現

いくつかの資料の映像を部分的に切り出したり再合成したりすることで、また様々な解説や音声などを付け加えることにより、元の資料の輪郭をいっそう有意義に膨らませた形で情報提供ができる。

(3)時間的・地理的な制約を超えた資料提供

インターネットにつながったコンピュータを介せば、いつでも、どこからでも必要な資料が記録保存されているデジタル・アーカイブにアクセスしてデータを入手できる。また、多くの利用者に対して同時に資料を提供できる。

(4)様々な角度からの資料検索

データベース化することにより、様々な角度から資料の検索が行えるため、資料を新たな切り口から見る事が可能となる。したがって、研究・調査のスピードアップ、研究テーマの多様な展開が期待される。

1.2 医療における電子カルテの進化

【意味】診療経過等を記録する紙のカルテを電子的なシステムに置き換え、電子情報として一括して編集・管理し、データベースに記録する仕組み。

【意義】カルテ内容がすべての人に容易に解読でき、異なる医療機関や医療従事者どうしの意味疎通が良好となり、迅速で安全な医療への道が拓かれる。

【紙カルテを電子化することへの効果】

(1)紛失防止

カルテの物理的な管理が不要になり、災害を含む様々な事態においても紛失の恐れが少なくなる。また、収納スペースの必要がなくなり、大容量データの保存が可能になるので、長期間にわたってカルテの内容を蓄積できる。

(2)判読が容易

診療経過をテキストデータのみならず、各種の画像データとい

っしょに保存できるので、検査結果や診断結果が一目瞭然の形で記録され、診断の背景が客観的に示される。

(3)検索が可能

テキストデータとして保存された部分に関しては、データベースに含まれる任意のキーワードによる検索だけで必要なデータを容易に抽出できる。

(4)どこでも参照が可能

データベースを参照するソフトウェアをネットワーク化しておけば、場所を選ばずに必要なカルテを呼び出して参照することができる。

(5)記載が容易

検査結果や画像とリンクさせることで、画像に直接コメントを書き入れたり、データを必要な切り口で適時グラフ化することが可能となる。

デジタル・アーカイブ		電子カルテ
博物館、美術館、公文書館や図書館の収蔵品をはじめ、有形・無形文化資源等をデジタル化して記録保存すること。	意味	診療経過等を記録する紙のカルテを電子的なシステムに置き換え、電子情報として一括して編集・管理し、データベースに記録する仕組み。
時間の経過とともに劣化や損傷が進む歴史的な文化財、また伝統芸能や伝統技術などの無形文化財をデジタル映像で記録して後世に継承する。	意義	カルテ内容がすべての人に容易に解読でき、異なる医療機関や医療従事者どうしの意味疎通が良好となり、迅速で安全な医療への道が拓かれる。
(1)資料の破損・劣化防止 (2)新しい表現の実現 (3)時間的・地理的な制約を超えた資料提供 (4)様々な角度からの資料検索	効果	(1)紛失防止 (2)判読が容易 (3)検索が可能 (4)どこでも参照が可能 (5)記載が容易

Fig.1 デジタル・アーカイブと電子カルテの違いとそれぞれの特徴

壁画デジタル・アーカイブの特徴

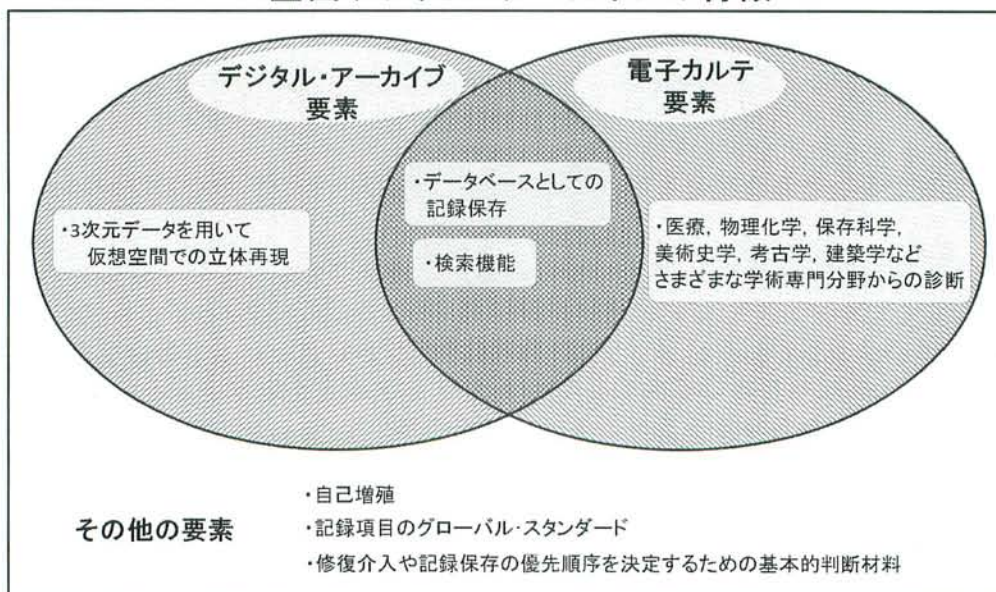


Fig.2 壁画デジタル・アーカイブの特徴

1.3 電子カルテを応用した壁画デジタル・アーカイブの特徴と可能性

(1)データベースとしての記録保存（オリジナルデータの長期的維持）

(2)検索機能

(3)3次元データを用いて仮想空間での立体再現

(4)医療、物理化学、保存科学、美術史学、考古学、建築学などさまざまな学術専門分野からの診断

(5)自己増殖

（誰でも参照・記録が可能で、記載責任者の明記を義務づけてカルテ上に追加記録を可能とすれば、文化財の種類によっては文化財を所有する地元の人々による観察記録（きめ細かな経年変化）が期待され、デジタル・アーカイブは Wikipedia のように自己増殖力によって自然に充実する。）

(6)記録項目のグローバル・スタンダード

（上記(5)の実現に向かうなら、記録におけるグローバル・スタンダードが不可欠。）

(7)修復介入や記録保存の優先順序を決定するための基本的判断材料

（特定のスポンサーが特定の目的で修復援助を申し出る場合のほか、ユネスコ、文化庁、都道府県などの行政が文化財の修復や保存事業に予算を割り当てる際、その必要度ないしは切迫度という観点から文化財電子カルテは基本的判断材料の一つとなりうる。）

2. データ収集に際しての本学チームの前提

2.1 非破壊

調査研究対象である壁画に対してばかりでなく、壁画の描かれている建造物に対しても、非破壊主義に徹し、物理的にも化学的にも非破壊を前提とした調査・分析アプローチで臨む。つまり、調査によって現状をいかなる程度においても破壊したり、現状の保持を危うくするような手段をとらずに、できるかぎり多くの情報を正確に計測して記録する。したがって、日伊共同の本プロジェクトにおいても、科学ラボが中心的に参加している国立フィレンツェ修復研究所チームとは違って、本学チームは壁画の漆喰や絵具などを描画層からサンプリングしたりすることは決してしない。ただし、偶然にして壁画から剥離した微少な落下物を発見した場合は採取する。また、洞窟教会の凝灰岩については、洞窟付近の石切場などで洞窟を構成しているのと同質の凝灰岩断片を採取する。その他、間接的に壁画に損傷を与えるような調査状況に対しても配慮したが、本節の2.3を参照されたい。

2.2 非・微接触

壁画に調査機器を直接接触させることなく調査・計測することを前提に、以下のようなレーザー光による機器や小型のデジタル光学機器を中心に選択した。

■空間記録のための3D レーザースキャナ

■壁画面の微妙な凹凸記録のための3D デジタイザ

■距離測定のためのレーザー測距計（巻尺などを併用した場合もあるが、基本的には高所などの測定にあっても脚立や梯子を使わずに、安全で正確なレーザー測距計を用いた。）

■デジタルマイクロスコープ（顕微鏡）は、倍率が高いほどピントが合いにくく、また手ぶれの確率も高くなるので、カメラ型のデジタルマイクロスコープが壁面に接するフロント面にスポンジを貼り、それを壁に軽く密着させる（微接触）ことでカメラを安定させた。

■デジタル色差計は、色差計自体の向きや周囲の光源の種類によってもすぐに色情報が変化してしまうため、周囲の光を完全にシャットアウトして、色差計自体に内装された光源によつてのみ計測する必要がある。そのため、デジタル・マイクロスコープの場合と同様に測定部周囲にスポンジ付きの専用アタッチメントを装着し、さらに壁面保護と正確な測定位置を記録する目的で、十字線を引いた（透明度が高く色差計の測定ではほとんど誤差のないことを確認済みの）透明フィルムを壁面にあてて計測を行った。

2.3 環境に対する影響を最小限に抑制

洞窟教会での調査では、常に電源を持参する必要がある。洞窟内には電気がまったく引かれていないことが多く、たとえ引かれていても、一般見学に必要な最小限の照明用であり、それを調査に使用するすべての機器の電源とすることはできない。したがって、電源は常に自前で用意する必要があり、私たちは3個のカーバッテリーをホテルで充電しながら使った。小型発電機という選択肢もあったが、狭い洞窟教会内での二酸化炭素等の発生は、文化遺産保存の観点から決して好ましいものではなく、安定した電気供給の実現のために、1個 30 kg という重さのカーバッテリーを受け入れることとした。

また、写真撮影班のみならず、ほとんどの調査班にとって洞窟教会内の照明は不可欠であり、作業によっては壁面の一部だけの照明ですむこともあれば、全壁面をむらなく照明しなければ撮影できないということもある。また、同じグラヴィーナ・イン・プーリア市であっても、調査対象の洞窟教会は4カ所に分散されているから、日本から持参する照明機器も作業チームの必要に応じて適切に分散することも考慮して、6台を用意することにした。なお、実際には1台のACアダプターが突然に故障し、調査の後半は5台の照明具を工面してやりくりすることになった。

照明機器については本プロジェクト当初から、フィールドにおける文化財調査に適した未来型照明具として、対象に対する熱の影響＝発熱量、消費電力ともに少ない有機EL照明に注目し、携行に便利で理想的な散乱光が得られると思われるアンブレラ型（内側に薄い有機ELパネルを貼った折りたたみタイプ）の設計をしていたが、色温度や照度を一定にする点がまだ開発段階で、必要な照度の有機ELパネルを貼ったアンブレラを用意するには経費もかさみすぎたので、LEDライトとした。LEDライトは、蛍光灯や白熱灯などの光源と異なり、不要な紫外線や赤外線を含まない（熱を発しないクールな）光源であること、軽量で衝撃に強く長寿命であると

いうフィールド調査には大きなメリットがあった。とはいえ、6台のLEDライトの購入に際して、チラツキなどのない安定したもの、それぞれのライトの色温度のばらつき幅の少ないものを注文してそろえるのは難しく、最初に納入された6台のうち3台までも交換することとなった。また、ライトの周囲に取り付けられた可変型のパンドアーの機能性や、ライトを支える脚部の設計も軽量で操作性のよいものでなければならない。

3. 記録・保存のための記録データとして

デジタル・アーカイブに記録保存されるデータは、その対象が立体や空間であれば3次元データでの計測記録であるべきで、3次元レーザースキャナが普及してきた現在、3次元データを基盤としたアーカイブを形成するべきであると考え、本学チームも2種の3次元レーザースキャナを導入した。また、不幸にして建築、彫刻、絵画、工芸などの文化財や美術品、歴史的資料が失われてしまうという事態が生じたとき、あるいは環境の悪化や作品の劣化が進んで公開できない状態に立ちたったとき、原作と寸分違わぬレプリカで再現しなければならない。原作に忠実な再現や復元を可能にするのは、2次元データだけでは困難で、3次元データが絶対に不可欠である。こうした将来的な大修復、再現レプリカの制作のニーズを考えても、今後の文化財デジタル・アーカイブの主力は3次元レーザースキャニングとなるに違いない。

そしてまた、平面芸術として分類される絵画の表面に、実際には様々な凹凸を見ることができ、その凹凸データこそが絵画の技法解明に新たな光を投げかけるとすれば、絵画においても3次元レーザースキャニングの重要性は揺るがない。いわんや、壁画は建築空間に描かれた絵画で、壁面には漆喰の塗りむらや鏝跡、下書きの刻線（インチジョーネ）や墨縄の縄目跡、筆跡や絵具の塗り重ねのほか、壁面に施されたミツロウや漆喰盛り上げなどによる工芸装飾も少なくない。もちろん、傷みの激しい壁画では大小の亀裂や絵具の剥落も壁面に凹凸をつくっている。

3.1 3次元空間記録：3次元レーザースキャナ

■3次元レーザースキャナ GLS-1500 (TOPCON 社製)
最長330m離れたところからでも計測が可能。（渓谷が横切るなど地形が複雑な場合でも遠距離からの計測ができる）デジタルカメラを内蔵しており、スキャニングによる3次元点群データに画像データから得られた色情報（RGB）を取り込み、リアルな点群データを作成することができる。無線LANを内蔵しているので、計測員自身が計測の妨げにならないよう、離れたところからの遠隔コントロールを行うことができる。

3.2 壁面全体の記録：可視光線（散乱光 with X-rite）、斜光線、紫外線での高精細デジタル写真撮影

■中判デジタル一眼レフカメラ 645D (PENTAX 社製)
4000万画素という高解像度（部分的に拡大しても、立体感や質感、色が緻密に再現される）の中判デジタル一眼レフカメ

ラである。撮影された写真は、画面サイズが大きくなるほど空気感や立体感を増し、味わいを深める。645Dは44×33mmの大型CCDセンサー（面積比で35ミリ判の約1.7倍）を搭載。アルミダイキャスト製シャシーにマグネシウム合金を外装に採用した堅牢なカメラボディは、防塵防滴仕様。また、正確に被写体を撮影するために、レンズの歪曲収差や倍率色収差をカメラ内で自動補正する機能を備えている。今回の調査で使用したレンズはいずれも単焦点の2本で、標準レンズ（35mm換算で43.5mm）としてsmc PENTAX-D FA645 55mmF2.8、超広角レンズ（35mm換算で19.5mm）としてsmc PENTAX-DFA645 25mmF4である。

■LEDライト LED512 (Flolight 社製)

縦16個×横32個で合計512個のLEDライトが配列されており、個々の色味や光強度がほぼ同じで安定しているため、壁に投影しても色むらや照度むらが少ない。専用の三脚に載せ、オプションのパンドアーを取り付け、開閉を調節することにより、光の向きや量を調節できる。光源の位置と向きを変えられることで、散乱（可視）光や斜光線による撮影にも便利であった。

■カラーチャート (X-rite 社製)

光源の種類、向き、強さによって、見える「色」は大きく変わる。色再現の正確性を期すため、オリジナルカラーでの写真記録のため、X-rite社製のカラーチャートを写真に写し込んで撮影を行う。個々のカメラやレンズの色特性や色彩バランスの調整にも用いる。

■紫外線LEDライト LED-128UV375F (OptCode 社製)

波長375nmの紫外線を照射するライト。これまでの紫外線ライトはAC電源であったが、光源をLEDにすることにより、低電力での照射が可能となり、単3電池4本で長時間の連続照射ができる。また、128個のLEDライトの先に特殊フィルターを装着することで、可視光を極力遮り、紫外線のみを照射できる。フィールドでの携行性には優れていたが、実際の現場ではもっと大きなUV光源が望ましかった。

3.3 壁画の部分的記録：デジタルマイクロSCOPE、色差計、Range5

■デジタルマイクロSCOPE A200(3R 社製)

200万画素のCMOSセンサーを搭載し、1600×1200pixelの解像度での撮影が可能。最大200倍まで拡大できる。カメラ型で背面には2.8インチTFT液晶ディスプレイがついており、リアルタイムでモニターを確認しながら撮影できる。ヘッド部分に高照度白色LEDライトを8灯搭載しているため、別途照明を用意しなくてもマクロ撮影を行うことができる。

■ワイヤレス・デジタルマイクロSCOPE 3R-WM401PC(3R 社製)

本体は太いペン型をしており、レシーバーをUSBでパソコンに接続して最大約5m離れた位置からでも使用できる。A200(3R社製)と同様にヘッド部分に高照度白色LEDライトを8灯搭載しているため、別途照明を用意しなくてもマクロ撮影を行うことができ、拡大率は最大200倍。また、最大720×480pixel、30fpsでの動画撮影が可能である。

■分光色差計 NF333 (日本電色工業社製)

単3電池4本で計測できるため、軽量、コンパクトで持ち運びが可能である。試料の分光反射率、各種色彩値、反射濃度の3項目が同時計測できる。測定部をペン型にすることで、正確な位置で径4mmの狭いサークル範囲を測定でき、スポンジ性の付属アタッチメントを装着することで、壁面を痛めることなく密着させることができる。

■3次元デジタルライザ Range5 (Konica Minolta 社製)

壁面から450~800mm離れた位置からレーザーを照射し、壁面の凹凸によってゆがんだレーザーの曲線をCCDセンサーで記録・計算することによって、壁面の凹凸形状を点群データとして作成する。800mm離れた位置からは、一回の測定で267×334mmという狭い範囲しか計測できないが、0.28mmの間隔で80μmの凹凸が識別できるため、壁面の微妙な凹凸まで高精細に記録することが可能である。

4. 診断・治療・将来予測のためのデータ

電子カルテ的な要素を含む診断・治療・将来予測のためのデータとしては、以下のような機器を用いて計測を行った。記録・保存のためのデータと同様に、機器選定にあたっては、シンプルな計測操作、小型・軽量、電池・バッテリーによる電気供給などの諸点を重視した。以下、計測項目と各種機器の特徴を示す。

4.1 空間の調査：温度・湿度、大気中のPH、教会建築内外の測量、位置と方位

■温湿度計 testo 610 (テスト社製)

単4電池2本で動作し、わずか90gと軽量かつ小型のわりに計算能力が高く、温湿度の値が安定するまでの所要時間はわずか数10秒。そのため、洞窟内の奥や出入口周辺、洞窟の外など、複数のポイントを数時間ごとに計測することも容易である。

■コンパクト pH メータ Twin pH B-211 (Horiba 社製)

数滴のサンプルで pH 値を計測できる。雨天時に採取した雨水の pH 値ほか、冷水を入れたペットボトルなどの容器の表面に付着した水滴を採取して、大気中の pH を測定できる。

■測距計 DISTO TM plus (Leica 社製)

レーザーポインタのように測定したいポイントにレーザー光線をあてるだけで、測距計から照射位置までの距離を瞬時に算出する。(条件にもよるが) 遠く離れたところでも最長200mまでの距離を測定することができる。また、内蔵された水準器により、測距計の水平からの角度、照射位置までの距離によって、高さも算出できる。データはBluetooth経由で直接パソコンに記録することも可能である。

■デジタルカメラ DSC-HX7V (SONY 製)

このカメラは通常の撮影だけでなく、GPS・コンパス機能を搭載しており、写真データの中に常に方位情報が、屋外では位置情報が自動的に記録される。付属ソフトウェアを使用して、撮影した位置とカメラを向けた方向をGoogleMapに表示することも可能である。

また、スイング・パノラマモード機能を利用してカメラを回転させれば、最大270度のパノラマ写真が撮影できる。屋外では洞窟教会周囲のロケーションを記録するのに威力を発揮する。そして、洞窟教会内では、少なくとも2カットで360度の全壁面を記録撮影できるので、(歪曲収差を抑えて)画角の小さなレンズで撮影した壁面のディテール写真の位置関係を把握するには大いに役立つ。

4.2 壁面の調査：目視観察による亀裂・剥離・剥落・後補・生物被害

■クラックシート

土木工学系の調査で利用されているクラックシートをあてて、1mm以下の亀裂でもその幅を簡単に測定して記録できる。記録にあたっては、当該箇所の写真を撮影し、すぐにiPadに取り込むことで、(見ているままの)写真データ上に亀裂の位置、方向、幅などの記録をフリーハンドで書き込むことができる。このほか、目視観察によって確認された壁面の特筆すべき状況(剥離・剥落・後補・生物被害)についても、同じようにiPad上に書き込むが、記録の種類ごとに色を変えて区分すれば調査後の整理が容易である。

4.3 壁面および壁面内部の診断：水分計、赤外線サーモグラフィ

■水分計 HI-520 (ケツト科学社製)

この水分計は主に石材の水分を計測するもので、石膏ボード、モルタル、コンクリートなどの素材ごとにダイヤルを切り換えて、含有する水分の量を計測する。調査対象の壁面の素材は石膏ボードやモルタルに類する漆喰なので、(漆喰そのものは既存モードに存在しないが)十分に計測可能だと思われたが、実際には正確に水分の量を計測できなかった。しかし、壁面の部位そのものの水分量は計測不可能でも、壁面の異なる部位(位置)による計測数値の高低差は、含有する水分の相対的な比較データにはなり得る。

■赤外線サーモグラフィ G30 (NEC/Avio 社製)

赤外線サーモグラフィは、壁面の温度分布によって壁面内部の状況、とくに漆喰層の剥離箇所などを特定するのに利用されている。壁面内部の剥離は目視観察ではわかりにくい。壁面が描かれているのは凝灰岩を掘り抜いた洞窟の壁であるから、凝灰岩とその上に塗られた漆喰層が剥離していれば、その間隙が保温に不可欠な空気層となっている。空気は岩石よりも温まりやすく冷めにくい性質＝保温性が高いため、剥離している部分だけが壁面の温度分布を示す赤外線サーモグラフィでは異なった色となっている。赤外線サーモグラフィを向けただけでは一般に顕著な結果が得られないので、ドライヤーなどで壁面を温め、数分後に赤外線サーモグラフィで計測すれば、壁面の剥離箇所を特定できるが、調査のせいで壁面の劣化することを危惧して、今回はその使用を控えた。

本学チームの用意した機器G30は、500gと軽量で、バッテリーで7時間の測定が可能である。また、熱画像と可視画像を同時に記録することができるため、正確な内部剥離位置を特定するのに優れている。

記録・保存				診断・治療・将来予測
<ul style="list-style-type: none"> ・3次元レーザーキャナ GLS-1500(TOPCON社製) 	空間			<ul style="list-style-type: none"> ・温湿度計 testo 610(テストー社製) ・コンパクトpHメータ Twin pH B-211(Horiba社製) ・測距計 DISTO TM plus(Leica社製) ・デジタルカメラ DSC-HX7V(SONY製)
<ul style="list-style-type: none"> ・中判デジタル一眼レフカメラ 645D(PENTAX社製) ・LEDライト LED512(Flolight社製) ・カラーチャート(X-rite社製) ・紫外線LEDライト LED-128UV375F(OptCode社製) 	全体	壁	全体	<ul style="list-style-type: none"> ・クラックシート
<ul style="list-style-type: none"> ・デジタルマイクロスコブ A200(3R社製) ・ワイヤレス・デジタルマイクロスコブ 3R-WM401PC(3R社製) ・分光色差計 NF333(日本電色工業社製) ・3次元デジタルタイザ Range5(Konica Minolta社製) 	部分	面	部分	<ul style="list-style-type: none"> ・水分計 HI-520(ケツト科学社製) ・赤外線サーモグラフィ G30(NEC/Avio社製)

Fig. 3 計測対象, 目的別の使用機器

5. 全調査チームが iPad を利用してリアルタイムに計測データを記録

5.1 iPad の機能・特徴と活用

iPad は手書きで自由に描けるほか、指先で画面を拡大縮小することができる。ノートと同様の感覚で使えると同時に内蔵ハードディスクにデータを保存できるため、データ紛失の可能性が少なく、必要に応じて過去のデータを即座に参照することも容易である。また、パソコンへのデータ移行が簡単なため、データのバックアップや他の iPad との情報共有が容易である。これらのフィールド調査における数々のメリットから、各計測グループがそれぞれ 1 台ずつ専用の iPad を携行し、恒常的に些細なメモであっても記録する。合同の調査経過報告会(日々のミーティング)の際にデータを相互に共有し合うことで、専門ごとに分担した各チームの情報連携が機能する。

5.2 iPad で利用したアプリケーション

(1)Photosynth

Photosynth は、iPad に内蔵されたカメラを用いて、写真を合成し、パノラマ写真を生成するソフトである。撮影を開始すると、各写真の境界を自動認識し、iPad を動かすだけで、写真を球面体に貼り合わせる。同じ位置で iPad を真上から真下まで垂直方向に回転させ、少し水平方向に回転してまた上から下まで回転することを続けると、水平 360 度、垂直 360 度、同一地点からの全視界を記録することができることになる。この画像は iPad 上で自由に回転させたり、拡大できるだけでなく、インターネット上にデータを置くことで、誰もが自由に操作し、見ることができる。ただし、どんな状況でも

夢のような芸当が成功するかと言えば、否である。青空や緑の森、パターン化した図柄などのような単調な被写体の場合には、各写真の境界を自動で認識するのが難しく、正確に合成できない場合もある。

(2)iHandy カーペンター

大工がよく使う 5 種類の計測器が、ソフトとしてデジタル化されたものである。それは、垂直の線や壁を計るための下げ振り、あらゆる平面のレベルを出す平面水準器、気泡管水準器、スチール分度器、定規の 5 種類である。iPad を計測ツールとして使うので、計測ツールとなった自分の画面を自分で撮影するわけにはいかない。そこでホールドボタンによって計測データを一時固定し、その計測画面を別のデジタルカメラで撮影することで、計測結果を記録することになる。iPad 自体が 5 種類のデジタル計測機器に早変わりするわけで、このソフトでフィールドに持参する水準器や分度器などのツールを減らすことができる。

(3)neu.Notes

紙に鉛筆でメモする感覚で、自由に手書きできるソフト。何ページにもわたるノートを複数作成することができるので、調査地や項目ごとに分類して書き分けることができる。また、iPad 内蔵のカメラで撮影した写真やデジタルカメラで撮影して取り込んだ写真を貼り付け、その上に様々な色、線幅のペンで注釈をつけることができる。この機能を利用すると、計測位置を写真に記載したり、平面図を作成したり、着目すべき点をメモしたりと、まさにメモ帳代わりにすべての情報を網羅的に記入し、完全に記憶させることができる。これらのデータは編集集中に指先で拡大縮小できるほか、PDF ファイルとしてパソコンに取り込むこともできる。

(4)Photo Measures

写真に距離や角度を記録するためのソフト。距離、角度記録モードの2つがあり、距離モードでは、始点と終点を設定するだけで、自動で両端が矢印の直線が引かれ、数字入力モードへと移行する。数字はキーボードから入力でき、指定のフォントで書き込まれる。角度記録モードも同様に中心点、角度の決定に必要な2点を選択すると、自動的に中心点から2点の直線とその間に弧が描かれ、角度入力モードに移行する。なお、点を設定する際には、その周辺域が拡大され、より正確に点を指定することができる。距離、角度計測においては、上述の neu.Notes よりも正確かつ素早く記録できることから、私たちチームはこのアプリケーションを利用した。

(5)neu.Annotate PDF

このソフトは、PDF ファイルを参照することができる。多くの人間が様々な最先端機器を通常とは異なる過酷なフィールドで使用するため、細かな設定変更、突然のトラブルに対処しなければならない局面も少なからず想定される。そのため、使用機器すべてのマニュアルを PDF 化して iPad に保存しておくことで、印刷された冊子マニュアルを探し出しことなく、いつでもすぐにマニュアルを参照しながら細書することが可能となる。実際には、重要な箇所をハイライトしたり、注釈をつけたりできるので、よく参照する表をマークしたり、独自の方法などをメモするなどの活用をした。

6. デジタル・アーカイブ構築の流れ

デジタル・アーカイブの構築にあたっては、本学の全チームが iPad を利用してリアルタイムに計測データを記録保存したことが契機となって、パソコンでのデータ集約を中心としたシステムの流れが自然にできあがった点を強調しておきたい。

6.1 基礎情報

全体の調査計画を立案（プランニング&マネージメント）するにあたり、事前の予備調査ですでに得られている以下の情報を基礎情報とした。

(1)平面図

洞窟空間内の広さや構造などの様子を知り、調査箇所の割り当てや調査に必要な時間予測など、調査計画を立案する上で最も重要な情報の1つである。

(2)立面図

平面図とともに利用することで、いっそう正確に洞窟空間内外のスケールを把握することができ、脚立や梯子などの必要性も想定できる。

(3)壁面写真

壁面を記録するにあたり、もっとも実際の参考資料となる。調査に際しての着目点、計測ポイントを決定し、それを各調査チームで共有することで集約される各種データの関連性が高まる。

(4)空間写真

壁面と向かい合って撮影した2次元の壁面写真とは異なり、

空間写真には3次元空間における壁面の位置関係や立地条件なども写り込んでいるので、必要かつ可能な調査項目および調査手法を現実的にイメージしながら検討する参考資料となる。

6.2 iPad への入力

本調査では、医療現場における電子カルテと同様に、測定結果や着目点などをリアルタイムで iPad に記録保存した。これらのデータは iPad に記録保存した段階でデジタル化されており、独自の標準化によって分類、体系化されたデータ構造をもっているため、調査終了後には直接デジタル・アーカイブデータに組み入れることができるというメリットがある。これまでのフィールド調査ではノート（野帳）などの紙媒体に手書き文字で記録し、調査終了後のデータ整理の際に PC に入力してデジタル化を行っていたが、iPad を利用することで、調査時の記録が即デジタルデータ化されることになった。これほどの高い利便性がありながら、iPad を中心的なデータ収集アイテムとしたフィールド調査やデジタル・アーカイブ構築の例を寡聞にして知らない。もし、他に例がないとすれば、私たちの調査システムの大きな特徴の一つであると言っても過言ではあるまい。事実、今回の調査に果たした iPad の貢献は実施前の予想を大きく上回るもので、利用価値と使用頻度からも、今後のフィールド調査における中心的なツールとして、従来の調査システムに大きな変革をもたらすかもしれないと思うほどである。そのフィールド調査における活用法をさらに工夫し、調査記録の正確さと効率、調査期間の短縮を追求したい。

6.3 PC への集約

フィールドに持参したパソコンは、iPad への記録ができない3次元スキャナ（GLS-1500, Range5）のデータ保存、iPad データのバックアップ、それぞれの調査メンバーとの情報共有などに使われた。カーバッテリーを持参するとはいえ、フィールドでは内蔵バッテリーの駆動時間が長いことは魅力に違いない。そして、3次元スキャニングデータのように大容量でもストレスなく動作するハイスペックであること、持ち運びに容易な軽量、コンパクトであることを条件に機種を選択した。

こうしてパナソニック社製の CF-S10 が選択された。このパソコンは対塵、耐水性に優れ、15.5 時間の駆動時間を保証するバッテリーを装着しても重量が 1.33kg しかない。仕様スペックについても、OS は Windows7 Professional (64 ビット)、CPU はインテル Core i5-2520M で、メモリは 8GB 搭載、ハードディスクではなく起動の速い SSD が使用されており、256GB の容量は1回のフィールド調査には十分な量である。なお、データのバックアップと万一のトラブルに対処するため同機種のパソコン2台を用意した。

6.4 解析・診断

調査期間が短いため、時には期間中にデータの解析や診断が行えないことがある。またデータによっては持参のパソコン

ンにはインストールされていない別のソフトウェアによる解析が必要なこともあるし、サンプルが採取できた場合には帰国後に大学の実験室で分析しなければならないこともある。このような場合には、帰国後あらためて解析、診断を行う。3次元スキャニングデータの場合は容量が大きく、編集においてはパソコンのデータ処理能力を超えていること、フィールド用を選択したためにモニター画面が12.1型ワイドと小さく、詳細かつ複雑なデータの編集や合成が難しいことから、帰国後にハイスペックなデスクトップコンピュータを用いてデータ整理の作業を行った。デジタルマイクロscope（顕微鏡）写真の合成や色差計による色情報の解析についても帰国後にデスクトップ・パソコンのソフトウェアで分析を行った。

6.5 データの統合

本プロジェクトにおける全調査データは、洞窟教会の空間を記録保存するデータと、洞窟教会内に描かれた壁画を中心とした診断・治療に関わるデータの、2種に分類されている。しかし、2種のデータとも同時期に取得されたもので、すべてデジタル・アーカイブのベースとなる3次元空間データ上に記録することができる。そのため、まず3次元空間スキャニングデータを元に洞窟教会空間を仮想空間として再現し、そこに写真データを貼り付けた後で、その他データの埋め込みを行うことにした。データは調査地ごとに分類され、調査項目ごとに区分されている。また、それぞれのデータは3層構造になっていて、第1層がオリジナルデータ、第2層が解析・分析データ、第3層が診断結果・考察等のデータである。このようなデータベース・システムとして体系化することで、今後の追加データや他の研究者から送られてきたデータもすべて整然と吸収することができるのである。

6.6 データの公開

2012年3月現在、本センターが委託したCulturanoova社(Arezzo, Italia)によって、インターネット上でのデータ公開の準備が進められている。PC内の仮想空間に現れた洞窟教会堂内において、閲覧者は視点や閲覧項目の変更などをインタラクティブに操作して、目的の情報を得ることができる。また表示言語もイタリア語、日本語、英語の3カ国語を選択でき、調査地の概要、壁画調査に関する解析データを知ることができるほか、映像による洞窟探検に進んだり、調査中のスナップ写真などを見て楽しむこともできる。

7. アナログ・アーカイブ

これまでは記録の長期保存に有効なデジタルでのアーカイブ構築について述べてきたが、同時にアナログによる記録保存の意義や有効性についても忘れてはならない。デジタル・アーカイブは仮想空間においてのみ、リアルな再現が可能であるが、現在までのヴァーチャル・リアリティの世界はまだ触覚的な価値については無力である。つまり、実在感のある触覚的価値を重視すれば、デジタル技術に依存しないアナログの手法によって「記録」は補完されなければならない。

7.1 カラーサンプリング：テンペラ絵具とスケッチブックによる

デジタル・アーカイブでは色差計によって数値化した色情報を取得しているが、実際には、この数値はある特定の光源下における色情報であり、白色電球による照明、太陽光による自然照明など光源によって、その色の見え方はずいぶん異なる。このため、本学チームは色差計による色情報を取得すると同時に、壁画上の同じポイントの色彩を洞窟教会内の自然光（サン・ヴィート・ヴェッキオ教会の壁画は博物館内に移築されているので、館内の照明を消してミックス光線となるのを避け、今回撮影に利用したのと同じLED照明の光線のみ）による色の見え方をアナログで記録することにした。テンペラ絵具を微妙に調合しながら、壁画上の数十ポイントの色を（1人の人間がすべて）スケッチブックに記録する、カラーサンプリングというアナログ手法を採用した。なお、この手法は先行する本センターの壁画修復・保存・復元プロジェクトにおいて、すでにフィレンツェのサンタ・クロッチェ教会大礼拝堂でアーニョロ・ガッディの壁画で経験した手法である。

7.2 原寸大模写：テンペラ絵具で模写するパネルの下地に現地の凝灰岩碎石粉を利用

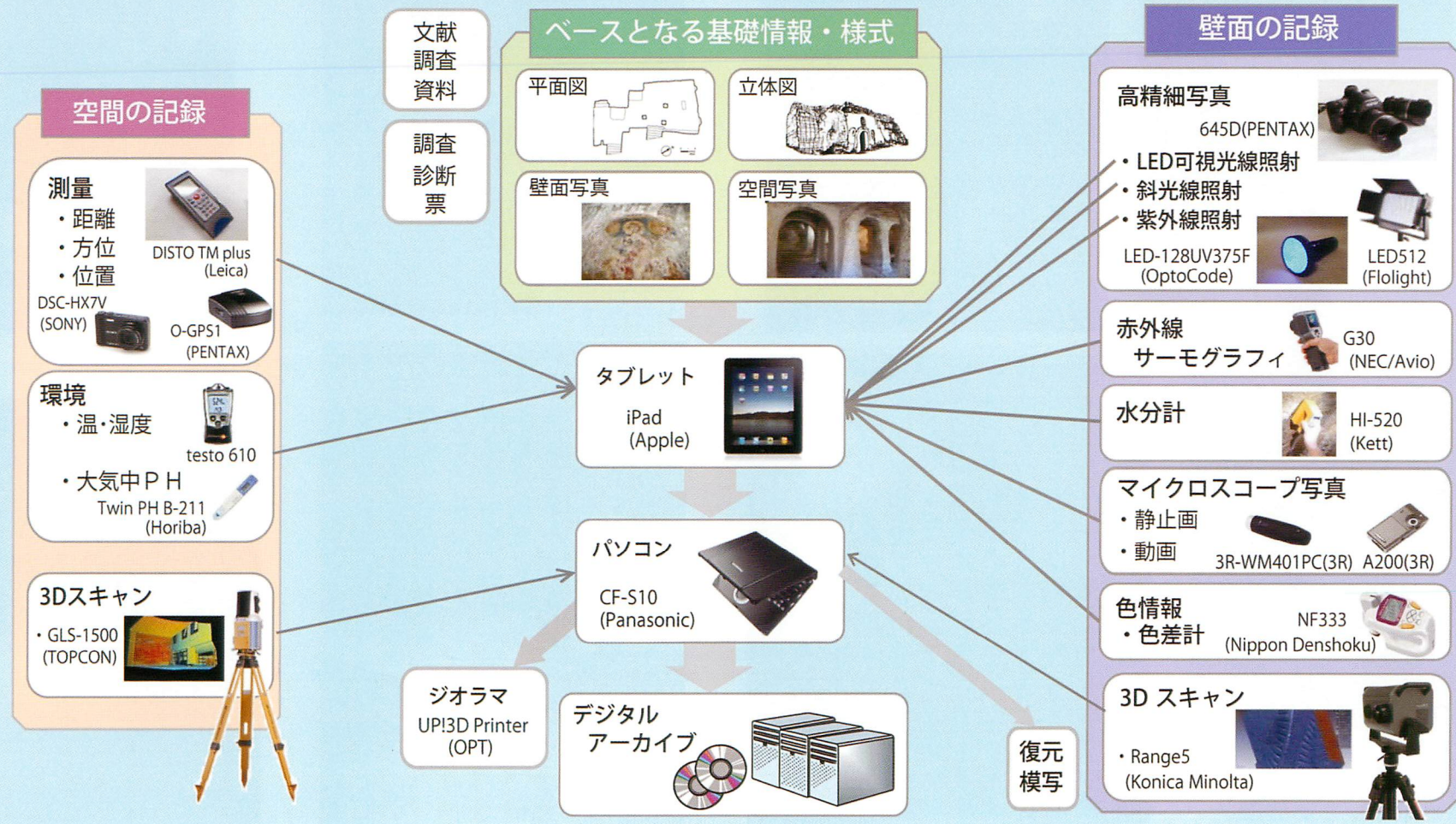
壁画はタブロー画（板やキャンバスに描かれた額入りの絵画）と違って移動することが難しいため、ほとんどの場合、壁画は制作されたときと同じ建築空間（環境・状況）にある。中世に描かれた壁画（原作）を前にして、（壁画全体からすれば一部ではあるが）原寸大で忠実に模写することは、当時の壁画技法を実証的に解明する大きなヒントを得ることができる。また、当時の制作者と同じ位置に立っての模写は、壁に向かって彩管をふるっていた当時の画家の心境や造形的センスなど、いかなる最先端デジタル機器でも計測不可能なヒューマン・データを感じ取ることができるのではないだろうか。これもまたフィレンツェのサンタ・クロッチェ教会大礼拝堂プロジェクトで、アーニョロ・ガッディのフレスコ技法へ挑戦し、模写を繰り返した経験が私たちにはある。模写にあたっては、現場で小型液晶プロジェクターの投影を利用した原寸大下絵を作成し、現地の凝灰岩を砕いた粉を漆喰に混ぜてパネル下地を作り、本学チームの絵画担当教授の大村雅章がテンペラ絵具で彩色して模写した。（II-4 参照）

7.3 3Dプリンタによる模型製作

3次元スキャニングデータは、3Dプリンタを介してデジタルからアナログの模型へと変化する。現実には原寸大模型は不可能だが、縮小模型なら容易に形成でき、スケール感を無視すれば質感ファクターも加味した建築空間モデルを再現することができる。

金沢大学のデジタルアーカイブ・システム

測定した診断情報をデジタルアーカイブに蓄積させるまでの流れ



調査風景

