

# カラー チャートを利用した 高精細写真の色補正プログラム

宮下明珠\*

## Color Calibration Program for High-Resolution Photo Using Color Chart

Mitsumi Miyashita\*

To construct digital archive for record actual condition of mural paintings, it is important to understand real color. In general, the photos are taken with color chart for the guideline to find real color. However, there is no software to edit color using color chart. In this chapter, I will introduce the new method to evaluate photo color and edit to make close to real color. The result of the comparison the photo between before and after the calibration shows high performance of the quality.

**Key Words:** Color Calibration, Color chart, JPG image, RGB color, Matlab

**キーワード:** 色補正, カラー チャート, JPG 画像, RGB, Matlab

### 1. はじめに

#### 1.1 プログラム作成の背景

南イタリアの洞窟教会壁画に対する本センターの調査プロジェクトは今年度で3年目になり、これまでに本格調査を行った洞窟教会は6ヶ所を数える。そして、調査地で収集した各種データはすべて、イタリアのクルトゥーラヌオーヴァ社と新たに共同開発している Modus Operandi system 上のデジタル・アーカイブに蓄積している。この中には現状記録の基本データとして撮影した洞窟教会全壁面の高精細写真（4000万画素）が含まれており、それらは斜光線照射による壁面の詳細な凹凸記録のほか、正常光で画像としての色の記録を目的として撮影されたものである。

物体の色は、「光源」、「物体」、「受光部」の3つの要素によって認識される[1]。つまり同じ「物体」を撮影しても、太陽光や蛍光灯をはじめとする「光源」の違いやカメラのレンズなどの「受光部」の特性などによって、写真での色の見え方は大きく異なる。そこで、高い再現性を得るために写真撮影の一般的な方法として、Fig.1のようなカラー チャート（色見本）を写真に写しこんでおき、編集段階での色補正作業の基準として利用しているものである。これは、写真撮影では、太陽光やLED光などの光源の違い、カメラのレンズの特性にともなう色味の変化などにより、カメラ本体が不可避的に実際の色とは違う記録をしてしまっているからである。しかし、撮影後の色補正についてはまだ明確な方法がなく、(X-Rite 社の場合) 24色ある色

見本データのうち数色しか考慮せず、しかもほとんどが編集者の主觀に頼って Adobe Photoshop などの写真編集ソフトを利用して（手動で）調整されているのが現状である。そこで、カラー チャート上の全色を考慮し、可能な限り論理的かつ客観的に色補正を自動で行うプログラムを開発することにした。

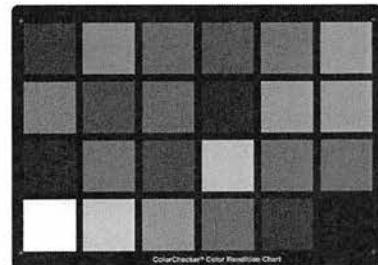


Fig. 1 カラー チャート

#### 1.2 従来の色補正技術とその問題点

デジタルカメラや液晶ディスプレイなどでは、色を再現するのにRGBという表現法が用いられている。これは色がRed(赤), Green(緑), Blue(青)の3原色に分解されて数値化されたものである。この3色がそれぞれどれだけ含まれているかで色を表現する。コンピュータ上では、各色の明度で0～255までの256段階で表される。たとえば3色すべてが0なら黒、すべてが255なら白となる。デジタルカメラで撮影したJPG画像は、どんどん拡大していくと小さい点の集合体であることがわかる。この1点1点がピクセル、または画素と呼ばれるもので、色情報を持つ最小単位と定義されている。つまり、4000万画素の写真是

\* フレスコ壁画研究センター

\* Research Center of Italian Mural Paintings

4000万の点の集合であり、それぞれがRGB各色256段階で表された数値を含んでいるということになる(Fig.2)。

もっとも広く使用されている写真編集ソフトAdobe Photoshopでは、自動・手動の両方で色補正を行うことができる。この自動色補正機能は、イメージツールの実行ボタン一つで誰でも簡単に写真の色補正を行うことができるものである。詳細なアルゴリズムは不明だが、読み込んだ画像にあるカラーチャートの色情報を考慮しているとは考えにくい。また、Adobe Photoshopでは手動で黒・白・中間の色のある位置を指定することにより、カラーチャートのグレースケール3色を考慮した色補正を自動で行うことができる(Fig.3)。もちろん、手動によるRGB各色のレベル補正、トーンカーブによる補正を行うこともできる。

本センターが現地調査で使用しているカラーチャートはX-Rite社製のものだが、このX-Rite社はカラーチャートを用いた色補正ソフト"ColorChecker Classic"も同時に提供している[2]。このソフトを利用すると、カラーチャートを自動認識して色補正を行うようであるが、Adobe Photoshopの場合と同様にそのアルゴリズムは不明である。しかも、"ColorChecker Classic"はJPG画像の自動色補正ができない、2004年に発表されたDNGとよばれる画像ファイル形式のものしか自動色補正できないという欠点がある。

以上のことから、従来の写真の色補正作業は、実際の色彩を正確に再現するために開発されてきたのではなく、「きれい」で「鮮やか」な仕上がりのためであったと思われる。したがって、写真に写しこまれたカラーチャートは忠実な色再現のツールではなく、自分の主観によって色調整する編集者の参考データと考えられていたのである。色補正機能については手動での調整が主流のソフトが多かったのは、そのためではないだろうか。なお、カラーチャートによる自動色補正ソフトもDNG形式という、デジカメ世界では一般的ではない新しいファイル形式のみに限定されている点も大きな問題である。色補正ソフト"ColorChecker Classic"を利用するこことを前提にして、今後の写真撮影では保存ファイル形式を変更するとしても、これまで撮影してきたJPG画像データの色補正是どうすればいいのだろうか。

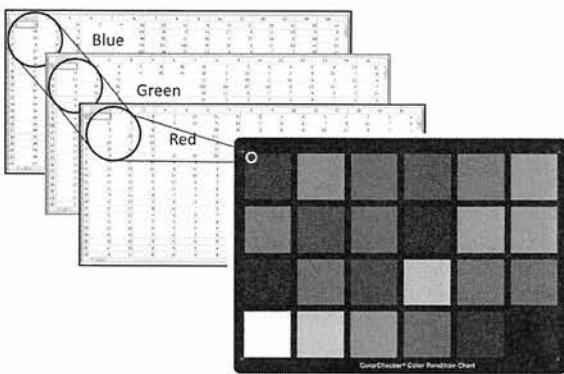


Fig.2 RGB3要素を含んだJPG画像の概念図

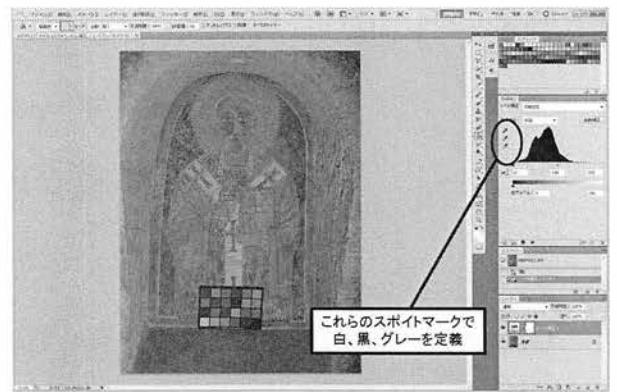


Fig.3 Photoshopの色補正モード

## 2. 実際と写真での色の違い

色補正を行うためには、実際のカラーチャートと撮影されたカラーチャートの色の違いを明確にする必要がある。そこでRGBの3要素の数値データを用いて、両者を比較することにした。しかし、評価方法については確立されたものがないので、以下の2つの方法で写真の色を評価することにした。

### 2.1 24色で見る実際と写真の色の違い

Fig.4は今年度の調査で撮影されたものであり、グロッタリエで2008年に発見された教会堂内に描かれていた「聖ニコラウス」像にカラーチャートを入れて撮影した画像である。これはLEDライトを正面から照射して光ムラをなくし、高精細中判デジタルカメラPENTAX-645D(4000万画素)で撮影したもので、RAWではなくJPG形式で保存している。この画像に写り込んだカラーチャートにおいて、24色の各色の範囲を抜き出して平均することで、それぞれの色のRGB値の代表とした。一方、カラーチャートの実際のRGB値にはカラーチャートに付属しているデータシートに記載されている値を使用した。この値は、販売代理店のホームページでも公開されている[3]。

Fig.5はX軸に写真から得たRGB値を、Y軸にはそれに対応する色のRGB値をそれぞれプロットしたものである。黒の直線は、XとYで同じ値を示した点の集合である。写真が実際のカラーチャートと同じ色(RGB値が同じ)の場合、その点はこの黒の直線上にある。そして、点から直線までの長さが実際と写真との色の違いの大きさを示している。Fig.5では、赤、緑、青のどの要素においても写真の値が実際よりも低くなってしまい、全体に暗く(明度が低く)なっていることがわかる。また、3色を比較すると、青の方が黒の直線に近いことから、全体として赤と緑の要素による違いが実際の色との違いを大きくしている要因ではないかと考えられる。しかし、赤と緑の点がほぼ一直線上に並んでいるのに対し、青にはばらつきがあることから、とくに青は補正が難しいことがうかがえる。



Fig. 4 カラーチャートを入れて撮影した画像

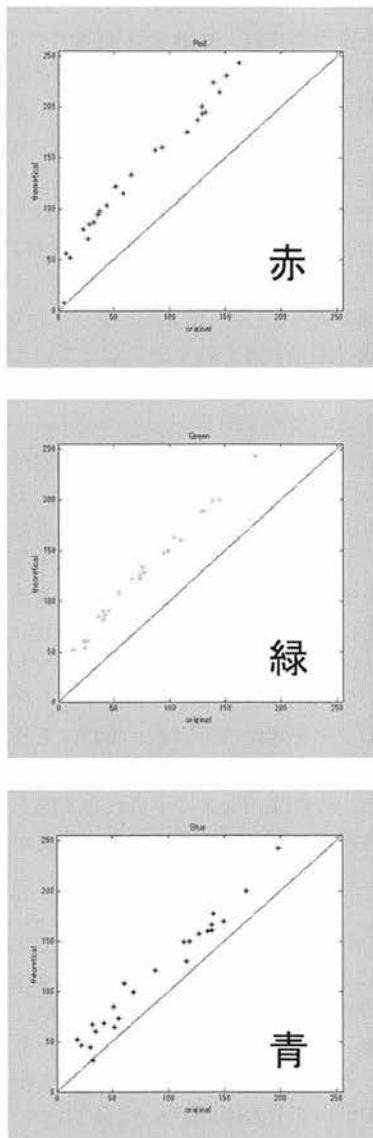


Fig. 5 Photoshop の色補正モード

## 2.2 6段階のグレースケールで見る色のバランス

グレースケールによって、RGB3要素での色のバランスを評価することができる。グレースケールは白と黒との混色で得られた色（白と黒自体も含む）であり、無彩色と同義である。無彩色とは彩度が0で、RGBで表現すると各要素の値がみな同じ ( $R = G = B$ ) でなければならない。Table1は、6段階のグレースケールのRGB値をそれぞれ示したものである。どの色においても各要素の値は異なり、赤が低く、青が高くなっている。また、明度が低くなる（白から黒になる）につれて、その差は小さくなっていることがわかる。このことから、写真は全体に青みがかったりおり、その傾向は明るい部分ほど顕著であると言える。

Table 1 6段階のグレースケールのRGB値

	白	→	→	→	→	黒
R	162	129	93	52	28	11
G	177	145	110	66	37	13
B	198	169	135	88	51	19
最大値-最小値	36	40	42	36	23	8

## 3. 新規プログラムの開発

デジタルカメラで撮影・記録された画像の多くは JPG 形式であるが、JPG 形式の記録は縦(ピクセル) \* 横(ピクセル) \* 3(RGB の各値)の3次行列ととらえることができる。そこで、Mathworks 社の数値計算言語ソフトの Matlab [4] を用いて、画像を 3 次行列に数値変換して分析することで、色補正を行うことにした。開発したプログラムは、次の 5 つのステップを通して色補正を行っている。

### 3.1 写真(画像)の取り込み

このプログラムは Matlab で作成しているため、取り込める写真的形式は Matlab が読み込めるファイル形式になる。実際に読み込める形式は、BMP, JPEG, PNG, GIF, TIFF の 5 種類である。プログラムを実行すると、瞬時に取り込みたい画像を選択するウィンドウが開くので(Fig.6)，サムネイルを見ながらカラーチャートを含んだ写真を選ぶことができる。



Fig. 6 写真選択のウィンドウ

### 3.2 カラーチャートの位置の認識

選択した画像のファイルサイズによって画像を3次行列に数値変換する時間は異なるものの、4000万画素の写真でも約1秒で取り込みが完了し、新しいウィンドウに取り込んだ画像が表示される。ここではカラーチャートの4隅の十字をマウスでクリックすることで、カラーチャートの位置を認識させる。各色の境界周辺はデータにばらつきが見られるため少し内側で切り抜き(Fig.7)、各色のRGB値を1ピクセルで代表するのではなく、(方眼分割されている各色の)マス全体の値を平均して各色のRGB値とした。このことによって、カラーチャートの色情報をより正確に得ることができる。

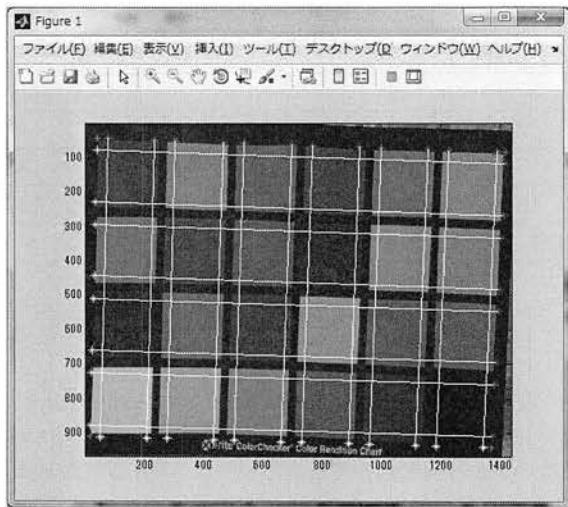


Fig.7 各色の切り抜き範囲

### 3.3 分析と結果の表示

前述の2つの方法により、カラーチャートのRGB値による実際と写真の色の違いを表示する。ウィンドウは2つ開き、Analysis(1)のウィンドウでは24色で見る実際と写真の色の違いを、Analysis(2)のウィンドウでは6段階のグレースケールで見る色のバランスを見ることができる。Analysis(1)には、上段にRGBの各要素における色の違いがグラフで表示され、下段にはそれぞれの値が占めるピクセル数の100分率がヒストグラムで表されている(Fig.8)。

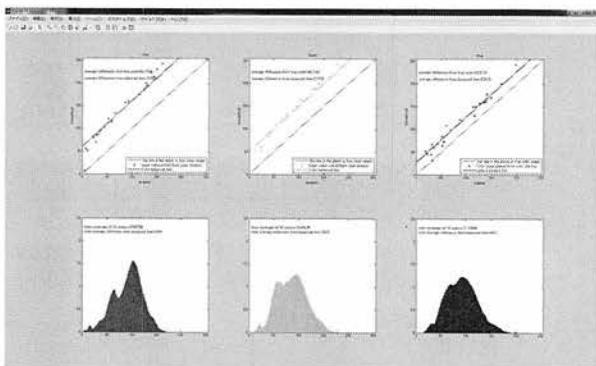


Fig.8 Analysis(1)のウィンドウ

上段の図では、「\*」で各色の値をプロットした場合の、実際と写真の色が同じ場合の点の集合を黒い細い線で示している。また太い直線は、この黒い直線と平行した線で描いた24点の近似1次直線である。この線により、明度による色のバランスと、実際と写真との明度を比較することができる。上段各図の左上にある数値は、実際と写真との差の平均値、全体の明度を考慮しての実際と写真との差(誤差)の平均値である。上段各図から、RGBの3要素すべてにおいて、黒い細い直線よりも太い直線の方が上にあることから、全体的に写真の方が実際よりも暗いことがわかる。その程度については、実際と写真との差の平均値として表される。赤では約60、緑では約50、青では約27と3色で異なっている。次に24点の位置と太い直線についてみてみると、3要素すべてにおいて値(明度)の低い範囲では太い線より下に多くの点があり、値の高い範囲では太い線よりも上に多くの点がある。このことから、写真の暗い部分は実際よりもさらに暗くなっている、明るい部分はさらに明るくなっていると言える。

下段のヒストグラムでは、RGBの3要素すべてにおいて、いくつかのピークが見られるが、値の低い範囲と高い範囲ではその値が占める割合は限りなく0に近くなっている。色補正是カラーチャートにある色を元に行うので、その色が占める割合と、その割合から全体として誤差がどのくらいあるかを数値で示した。カラーチャートの色が全体を占める割合は、赤が約11%、緑が15%、青が約12%となっている。写真全体に見る誤差は、赤で3.7、緑で1.5、青で6.5であった。上段に示された誤差は、赤が約10.5、緑が約3.2、青が約4.6となっており、3要素すべてにおいて下段の誤差の方が約半分になっている。これは、全体の占める割合の小さい値で誤差が大きく、占める割合が大きい値で誤差が小さいためである。

Fig.9は、6段階のグレースケールで見る色のバランスが表示されたAnalysis(2)のウィンドウである。上段、中段、下段がそれぞれR、G、Bの値で、左から右に白から黒とそれぞれの色ごとに区切られている。それぞれの図は各色で示した値のピクセル数がヒストグラムで表示されており、代表値とした平均値が示されている。どの色の要素においても値の幅は約20であり、そのピークは15%を超える正規分布の形をしている。このことから、同色でのばらつきが少なく、各色1点を代表値にすることが可能であることを裏付けている。また、それぞれの色を見ると、どの色においても各要素の値は異なり、赤が低く、青が高くなっている。結果は、Fig.8に示された実際と写真との差の平均値に現れた結果と同じである。また、明度が低くなる(白から黒になる)につれて、その差は小さくなっていることもわかる。

以上のことから、写真データの編集において、実際のカラーチャートの値に近づけるための色補正には、(1)全体の明るさ(どの要素も明るくなるが、その程度は赤、緑、青の順に小さくなる)の調整、(2)全体で占める割合が大きい部分の誤差は小さかったので、その値を維持し、全体の占める割合の小さい値(とくに明度が低い部分の誤差が大きい)について誤差を小さくする微調整、という2つが必要であることがわかる。

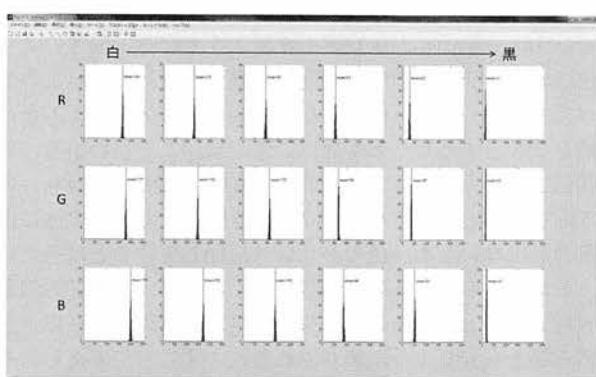
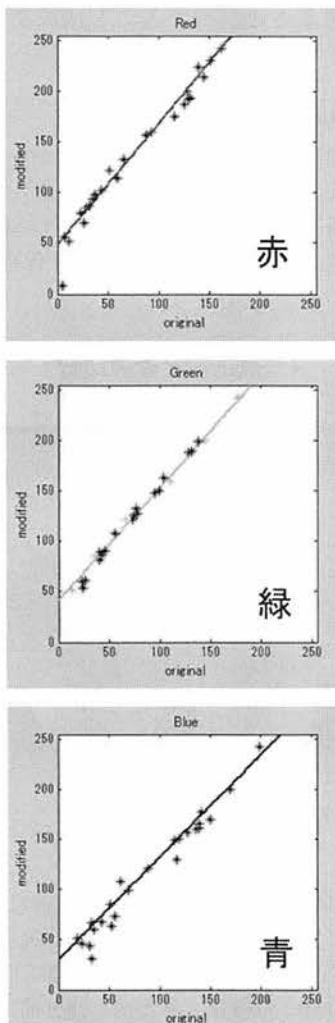


Fig. 9 Analysis(2)のウィンドウ

### 3.4 色補正(トーンカーブの生成)

上述の分析結果を踏まえ、今回新しく開発したプログラムでは、2つのステップで色補正をすることにした。

#### (1) 全体の明るさの調整



これにはグレースケールの6色のRGB値を用いた。この6点で、R, G, Bそれぞれにおいて近似1次直線を導き出した。グレースケールでは3要素すべての値が同じであることから、グレースケールのみを用いて近似1次直線を導き出すことにより、グレースケールでのカラーバランスを整えながら、全体の明るさを調整することができる。

Fig.10はR, G, Bそれぞれにおいて得られた近似1次直線を示している。黒の「\*」はグレースケール、「・」はそのほかの18色の値を示している。

#### (2) 誤差を小さくする微調整

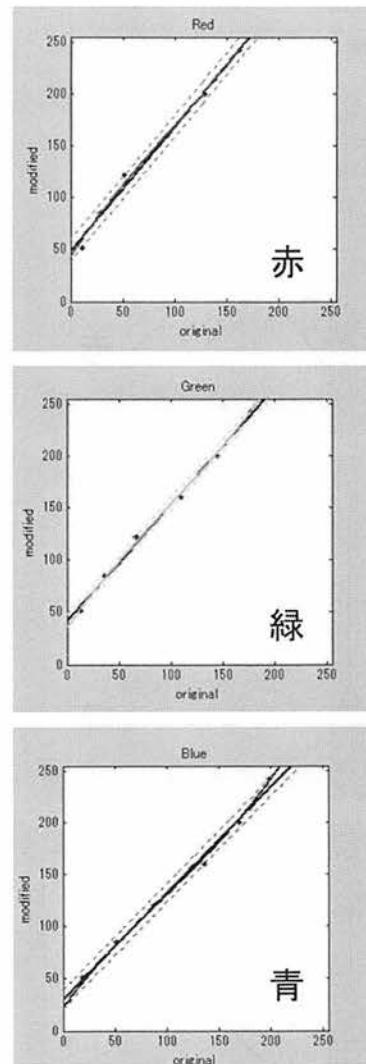


Fig.10の結果を見ると、全24点は近似直線付近にあるものの、直線上にあるものは少ない。グレースケールの6点においても直線まで離れているものがある。点から直線までの距離は誤差を意味しているので、ここではそれを極力小さくしなければならない。そこで、第2段階として、第1段階で整えたカラーバランスを保ちながら誤差を小さくする方法を考えてみた。

そして、グレースケールのバランスを崩さないために、グレースケールの6点の範囲内で近似曲線を作ることにした。まず、第1段階で導出した近似1次直線を平行移動し、グレースケールの6点がすべて含まれる範囲を設定した。これがFig.11に示された点線である。その中に曲線が入るように残りの色の18点で近似3次曲線を描いてみた(Fig.11の太い線)。より誤差を小さくするためにさらに高次の曲線を描くことも可能だが、急激な値の変化による不自然さを防ぐため、3次曲線を用いた。

このように第1段階でグレースケールの6色、第2段階でカラーの18色を考慮することにより、全24色を利用して近似曲線を作成し、これをトーンカーブとして色補正を行った。

### (3) 色情報の保持

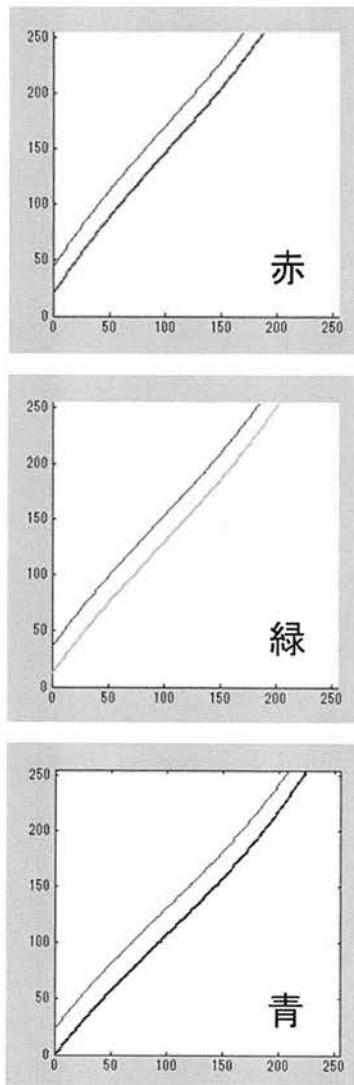


Fig.12 シフトした近似3次直線(太線)

今回得られたトーンカーブをみると、赤は写真での値が173、緑では188、青では210で補正值が255となる。前述のように各色は0から255までの256段階で表すため、これ以上の値はすべて255としなければならない。Fig.8のヒストグラムから補正值を255とするピクセル数はごく少ないとわかる。実際に数値で見てみると、赤は全体の0.03%、緑は0.004%、青は0.15%であった。今回の写真については、この値が全体に占める割合が少ないため、色のバランスを崩しているとは考えにくい。しかし、全体に占める割合が多くなると、白飛びの現象を引き起こすことになる。トーンカーブが写真の値で0以上から始まる場合も同じように黒つぶれを起こすことが考えられる。こうした場合には、写真の明るい部分や暗い部分の色情報を損失することになり、写真を色補正によって実際の色に再現することはできない。このような場合は、カラーバランスを維持したまま、全体の明るさを調整することで色情報の損失を防ぐことにした。明るさの調整には、R、G、Bの3要素において、トーンカーブを同じように上下させ、白飛びや黒つぶれになる割合の合計が元も小さくなる位置を計算できるようにし、その位置までトーンカーブをシフトさせることで、カラーバランスを維持しながら明るさを調整することに成功したのである(Fig.12)。

### 3.5 補正画像の保存

補正画像は、指定の場所に指定の名前で保存することができる。写真の取り込みと同様に新しいウィンドウが開き、マウス操作で場所を指定し、指定の位置に保存したい名前を入力すると、補正した画像を保存することができる。保存は、TIFF形式である。

### 4. 補正前と後の比較

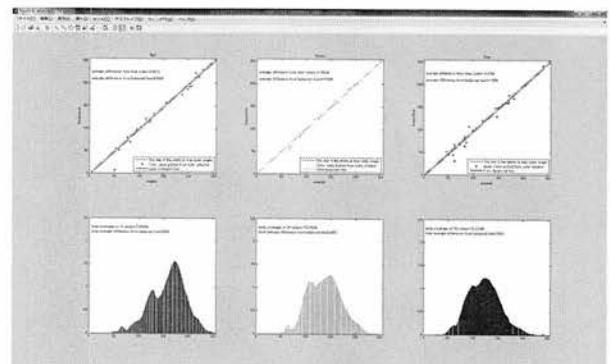


Fig.13 補正後の分析結果

Fig.13は、補正後の画像を分析した結果を示している。R、G、Bすべての要素において、太い線が黒の細い線とほぼ重なっており、実際と写真的カラーチャートの値がほぼ同じであることを示している。Table2は数値で見た補正前と補正後の分析結果を示しているが、実際と写真との差の平均値においては、どの要素とも格段に小さくなっている。同時に誤差についても、赤

と緑は約3分の1にまでなった。青は点にばらつきが見られ、それほど大きな改善は見られなかった。写真全体においては、補正前の画像全体で占める割合が大きい部分の誤差はもともと小さかったので、数値の上では大きな変化は見られなかった。Table 3は、6段階のグレースケールで見る色のバランスを示している。Table 1と比較すると、どの色も値の幅は断然に小さくなっている、白にいたっては0になった。

本稿で示したのは1画像のみの結果であるが、どの画像においても、補正前よりも補正後の方が格段に改善されていた。

**Table 2** 補正前と後の比較

実際と写真との差の平均値		
補正前		補正後
60.1494	R	-3.8572
49.7265	G	-0.7863
26.8190	B	-4.3158

全体の明度を考慮しての実際と写真との差(誤差)		
補正前		補正後
10.5604	R	4.3364
3.1685	G	0.9188
4.6344	B	4.1204

写真全体に見る誤差		
補正前		補正後
3.7010	R	3.6559
1.5313	G	0.9851
6.4793	B	6.4862

**Table 1** 6段階のグレースケールのRGB値

補正後	白	→	→	→	→	黒
R	203	162	114	83	59	11
G	203	164	116	83	53	13
B	203	166	119	82	46	19
最大値-最小値	0	4	5	1	13	8

## 5. プログラムの利用

### 5.1 独立プログラムへの変換

本プログラムはMatlabで作成しているため、通常Matlabをインストールしているコンピュータでしか実行することができない。しかし、Matlabに組み込めるツールの中にCompilerというものがあり、作成された実行プログラムを独立したアプリケーションに変換することができる[5]。これを利用すれば、どのコンピュータでもこのプログラムによる色補正が可能である。

### 5.2 デジタル・アーカイブへの利用

このプログラムの有用性については、本センターと共同で全調査データのデジタル・アーカイブ構築を行っているイタリア

のクルトゥーラヌオーヴァ社にも検証を依頼した。画像の誤差が補正後に明らかに小さくなっていること、1枚の補正に30秒とかからない高効率が確認されたため、デジタル・アーカイブに保存するすべての画像において、このプログラムによる色補正を行うことが決定した。

## 6.まとめと今後の課題

### 6.1 プログラムの特徴

本プログラムは、カラーチャートを入れて撮影したJPG画像すべてにおいて、自動で色補正を行うことができる。また、同じトーンカーブを利用して、カラーチャートに入っていない複数枚の画像を同時に色補正することも可能である。カラーチャートを元にした分析結果を表示することにより、画像のもつ色に関する特徴や誤差の傾向を知る目安にもなると考えられる。また、大事な情報を損失しないようにカラーバランスを維持しながらの明るさ調整が行えるので、用途によって使い分けることも可能である。

### 6.2 今後の課題

このプログラムは、2012年9月に実施した南イタリアでの現地調査で撮影した写真をサンプル画像として検証を行った。現地調査ではFloright社製のLEDライト(LED512)とPENTAX-645D中判デジタルカメラを使用しており、被写体に応じてカメラのレンズ交換が行われるが、カメラ内部でRAWデータをJPGに変換するアルゴリズムや光源は同じである。今後は、他のカメラによる撮影や異なった光源下でも色補正の精度に問題がないか、さまざまな場合で検証を重ねることが必要であろう。

また、このプログラムを作成するにあたって、色の精度の評価にはカラーチャート24色で実際と画像のRGB値をそれぞれ比較し、グレースケールの6色においてRGB値の幅がどのくらいあるかを数値で示した。しかし現段階では、確立した評価方法が存在しないため、この評価方法に基づいた色補正手法が効果的かどうか検証する方法がない。今後はこのプログラムをベースとし、さまざまな観点から手法を検討し、さらなる精度向上につなげたいと考えている。

※このプログラムには、写真データからの再現性や今後の利用の拡大を想定し、現在本学から特許出願中である。

## 参考文献

- [1] <http://www.kurabo.co.jp/el/room/color/page1.html>
- [2] [http://xritephoto.com/ph\\_product\\_overview.aspx?Action=support&ID=820](http://xritephoto.com/ph_product_overview.aspx?Action=support&ID=820)
- [3] [http://www.nationalphoto.co.jp/2F/x\\_rite\\_sheets.htm](http://www.nationalphoto.co.jp/2F/x_rite_sheets.htm)
- [4] <http://www.mathworks.co.jp/products/matlab/>
- [5] <http://www.mathworks.co.jp/products/compiler/>

付録 グラヴィーナ・ディ・リッジョ東教会に描かれた壁画写真  
の色補正前と後の分析結果の比較  
(この写真は色情報を保持するため第3段階による明るさの再  
調整を行った。)

実際と写真との差の平均値		
補正前		補正後
51.3955	R	22.8296
46.4024	G	27.7511
33.4960	B	24.8057

全体の明度を考慮しての実際と写真との差 (誤差)		
補正前		補正後
8.1115	R	4.6944
2.7781	G	1.3894
3.4721	B	2.9167

写真全体に見る誤差		
補正前		補正後
4.4272	R	3.6802
1.7858	G	1.4968
2.7513	B	3.6305

補正前	白	→	→	→	→	黒
R	167	137	101	61	34	15
G	175	146	112	71	40	16
B	185	159	125	82	48	20
最大値-最小値	18	22	24	21	14	5

補正後	白	→	→	→	→	黒
R	212	174	133	87	54	28
G	213	174	133	89	54	23
B	212	175	136	90	55	24
最大値-最小値	1	1	3	3	1	4

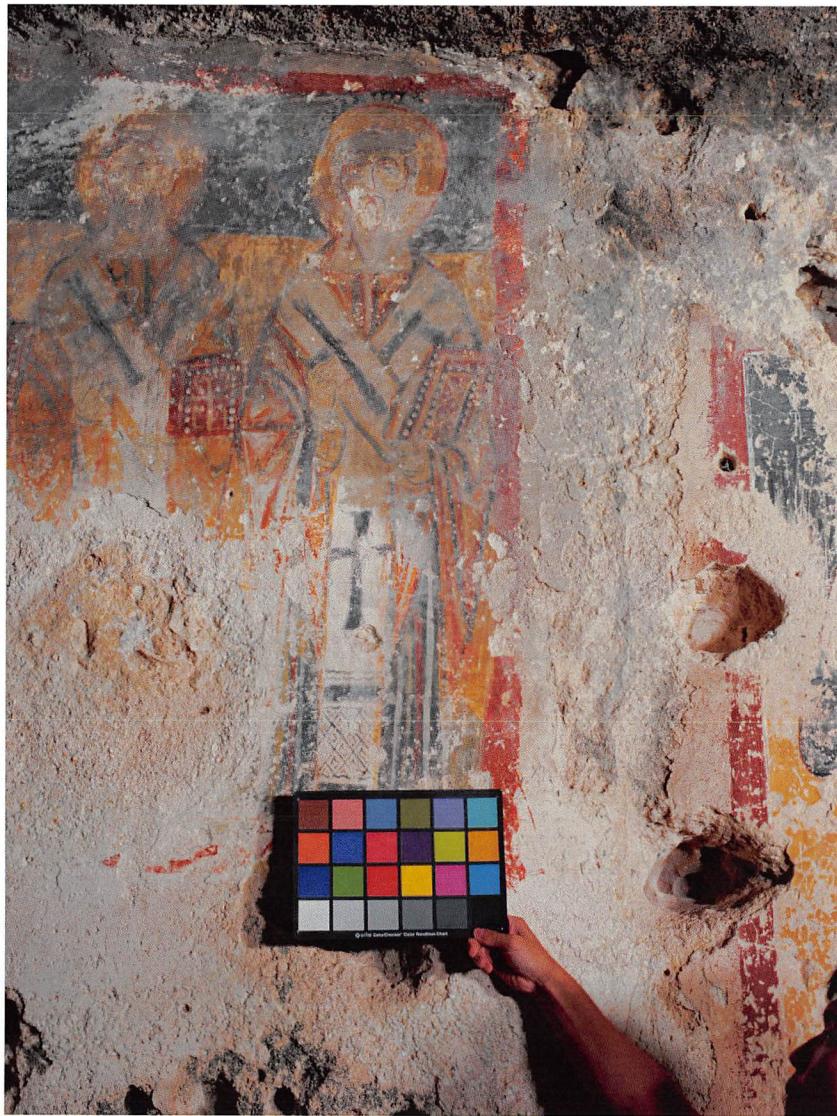


補正前

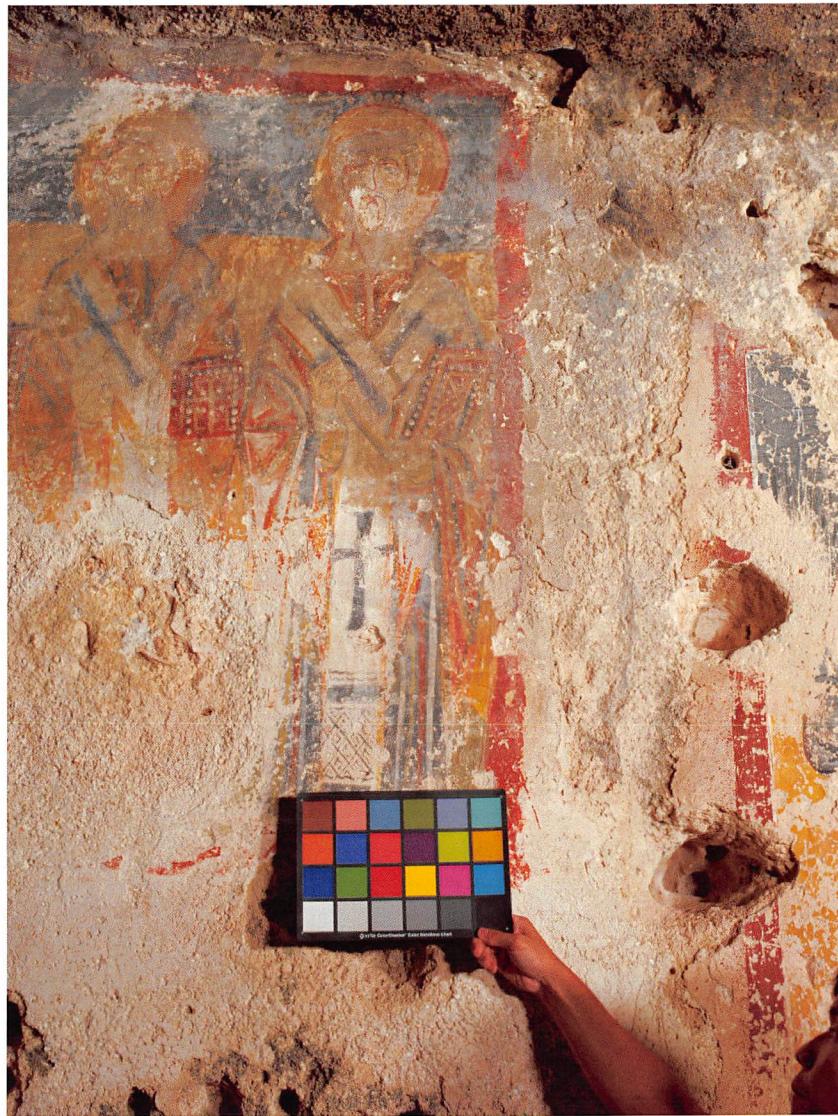


補正後

2008年に発見された教会に描かれた聖ニコラウス像(グロッターリエ)



補正前



補正後

グラヴィーナ・ディ・リッジョ東教会に描かれた壁画(パラジャネッロ)