

# 不均等黄変ネガカラー写真補正プログラムの開発について

大西 康雄

## Development of an Uneven Yellowing Negative Color Photograph Correction Program

OHNISHI Yasuo

### Abstract

Scanning color negative film that is more than 20 years old frequently results in images with uneven yellowing and fading, especially in the center of the frames and in the blue areas. However, this type of yellowing and fading is common in Japan and is almost unknown in Europe and the United States. Perhaps for this reason, existing image editing software often has difficulty in correcting such faded photographs. In response to this problem, I have developed an editing support tool using ImageJ and GIMP to assist in the correction and editing of such photos. This paper presents an overview of this work.

キーワード：ネガカラー写真補正、写真編集、ImageJ、GIMP

key words: Negative Color Film Photo Correction, Photo Editing, ImageJ, GIMP

### 1. はじめに

周知のことではあるが、かつて写真の主要メディアであったカラーフィルムの色素は経年褪色する。フィルムの保管状態にもよるが、20年以上経過したカラーフィルムの多くに何らかの褪色が見られると思われる。これに対して、写真メディアが一般的にデジタル化されるとともに、褪色したカラーフィルムをデジタルスキャンした画像をデジタル的に修復することも一般的に行われるようになってきている。このような褪色フィルム画像の修復には、Photoshop、GIMPといったレイヤー編集をサポートした写真画像編集ソフトウェアが使われるのが一般的であり、またそのような画像の修復技法についても、インターネット上に数多く紹介されている。

ところで、日本でよくみられる典型的なネガカラーフィルムの褪色パターンとして、ポジ画像を得たときに、フィルムのコマの中心部などに不均

等の黄変が発生するとともに、程度が激しい場合さらにコマの周辺部分が青～青紫様に褪色している場合がある。図1の例は、撮影後30年以上たってからフィルムスキャナーでスキャンした画像である。

実はこのようなネガカラーフィルムの褪色パターンは少なくとも英語圏ではほとんど知られておらず、日本特有の現象であるようである<sup>1)</sup>。なぜ日本において不均等に黄色く変色するネガカラーフィルムの褪色が多発するのか、その原因は知られていない<sup>2)</sup>。しかし、コマ内で不均等に変色することから、フィルムスリーブが何らかの影響を及ぼしているものと推察できる。というのはフィルムスリーブとフィルムの接触距離がこのような不均等な変褪色をうみだしているのではないかと考えられるからである。欧米では、ネガフィルムの保管に、グラシン紙のフィルムスリーブを使うことが一般的であるのに対し、日本において



図1 典型的な不均等黄変ネガフィルム画像

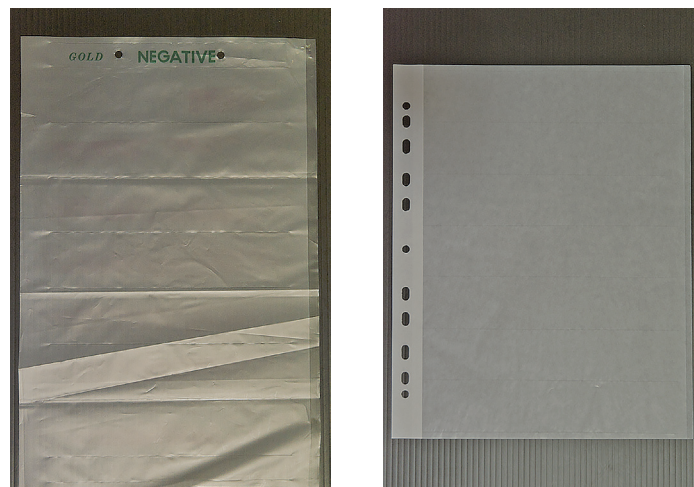


図2 ポリエチレンスリーブ（左）とグラシンスリーブ（右）

は、透湿性の低いポリエチレン製のフィルムスリーブが普及しており、おそらく、ポリエチレンが含む可塑剤と日本の高温多湿な気候、さらに日本で使われる現像液や、日本のフィルムメーカーで使われる感光材などの複合要因によって、このような変褪色パターンが多発しているものと思われるが、憶測である。

なお、このように褪色したカラーネガフィルムから得られた不均等黄変ポジ画像をRGB分解してみると、次のような特徴がみられる。R、G画像は比較的褪色の程度が弱いのにに対しB画像は黄変している部分ほど明度値が低く暗くなる一方、周辺褪色部分は明るくなっている。場合によると周辺褪色部分は画像情報が消失するほど明るくなる。さらに、B画像のテクスチャも、褪色が進むほど荒れが確認できる。これはネガフィルムにおいてイエロー色素層が最も褪色しやすいことを示

唆する。なお、一般に褪色の影響が最も低いのはR画像である。これは、ネガフィルムの色素層が表面からイエロー、マゼンタ、シアンの順になっていることと関連すると思われる。

ところで、このように不均等に黄色く変褪色したネガカラーフィルムをデジタル的にスキャンして、既存の画像編集ソフトウェアで修復補正処理を実際に行おうとすると、極めて困難な場合が多いことが分かる。黄変の程度が比較的軽微な場合、あるいはコマの中での黄変の出方によっては、既存のソフトウェアでも比較的容易に修復が可能な場合がある。しかし、ある程度黄変が進行すると、その修復は極めて困難である。仮に可能であったとしても、極めて膨大な作業時間を要するのが普通であり、事実上不可能に近い。さらに、このように不均等に黄変した画像の修復がなぜ極めて困難なのか、その理由すらも認識されていない。



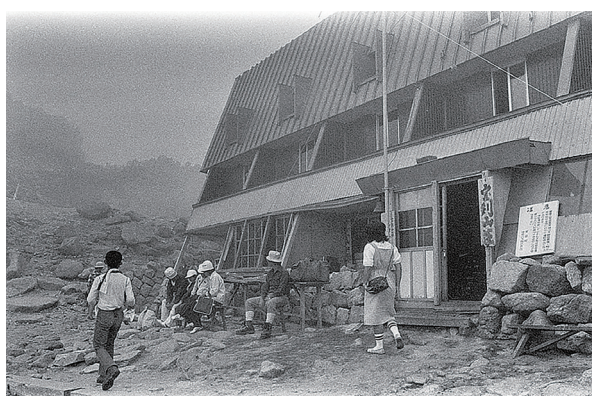


図3 図1をRGB分解したもの  
(上からR、G、B画像)

筆者は、このように不均等に黄変した、退色ネガカラーフィルムからデジタルスキャンを行ったポジ画像の修復編集を行うためのサポートプログラムの開発を行った。本稿ではその概要を紹介する。

## 2. なぜ既存の画像編集ソフトウェアでは不均等黄変画像の修復が困難なのか

まず、既存の写真画像編集ソフトウェアではこのような不均等に黄変した画像の修復編集が極めて困難な理由について探ってみよう。まず、画像

編集ソフトウェアの大半は欧米で開発されており、不均等に黄変した写真画像は欧米ではほとんど知られていないため、そのような画像を修復するようなニーズがあるとは想定されていないと思われる。従って、これらの画像編集ソフトウェアに、このような画像を補正するために有効なツールが考案され搭載されることもないと考えられる。

一般に、不均等に黄変した画像を既存の画像編集ソフトウェアで修復編集を試みる際に困難である理由を考えると、大きく分けて次の2点が考えられる。1点目は、変退色した部分の形状が不均等であり、この不均等な変退色部分を切り出して、編集する必要があるが、この変退色部分をうまく切り出すツールが既存のソフトウェアに存在しないこと。2点目は、1点目と密接に関連するが、黄変の仕方も均等ではないので、黄変部分に何らかのマスクを掛けて編集を行うことになるが、色を補正するツールに見合ったマスクを作成するツールが存在しないことである。

まず、1点目について考えてみる。不均等黄変を起こしている画像の場合、場合によっては黄変部分が、上の事例に見るように、単一の色域ではなく、広い色域に渡って広がっている場合がある。そして、人間の目には黄変した部分は極めて自明に見えるが、既存の画像編集ソフトウェアはこのような黄変部分を一括して範囲を確定するのは意外に困難である。というのは、黄変が広い色域にまたがっている場合、同じ黄変部分でも元の色がどうであったかにより、その黄変部分のRGB値は大きく異なるからである。さらに、既存の画像編集ソフトの大半は、類似した色域を指定する際に、RGB色空間における $\Delta E$ （ユークリッドの距離）値に基づいて判定していると考えられる<sup>3)</sup>。これは、ある特定の色の絶対値に基づいて類似色範囲を決めていると考えてよい。そのため、変色部分を補修する際に、広い色域にまたがる変色部分を一括して指定することができず、元の色に応じて細分化して範囲指定を行わねばならない。従って、非常に手間がかかる。

2点目は、作成するマスクが補正手段とうまく

整合的かどうかという問題である。PhotoshopやGIMP等の画像編集ソフトの場合、色を調整する主たる方法は、R、G、Bチャンネルのレベル補正や、トーンカーブ補正である。この時、既述のように補正色域の指定や、マスクを作成する基準は $\Delta E$ と思われる。しかし、多くの人に気づかれていないが、筆者が検討したところ、この $\Delta E$ による色域指定は必ずしもR、G、B値を調整する編集方法と整合しない。この結果、色域指定部分に対し、レベル補正やトーンカーブ補正を行っても思うように変色部分を修復することができないことが多い。変褪色の様態が画像の中ではほぼ均一であれば、これはあまり問題にならないので、この点についてもほとんど理解されていないと思われる。もちろん、色域指定部分を非常に細分化し、その部分ごとにパラメータを少しずつ変えた補正編集を行えば、既存の画像編集ソフトでも修復編集は全く不可能ではない。しかし、そのためには編集作業に非常に膨大な時間を要し、とても実用的とは言えない。

結局問題は、既存の画像編集ソフトが色域を判定するのに $\Delta E$ を使っていることが多いという点にある。しかし、RGBの相対値を使った色域判定の方が、RGB値を調整する編集には整合的である。つまり、相対的に黄色い部分をうまく切り分けられるようなツールが求められるのである。

実は、既存の画像編集ソフトでも、RGB相対

値に基づく色域判定を行うツールが備わっているものはある。Photoshopの色域指定では、レッド系、イエロー系、グリーン系… というオプションがあるが、これはRGBの内、ある1チャンネルが、他の2チャンネルに比べて相対的に高いか低いかで、選択範囲のピクセル範囲を決定するオプションである。しかし問題は、これで作成できるマスクの効果が弱く、大きく変褪色した写真の補正には不十分であるという点である。またパラメータ設定の自由度も低い。

これらの問題点により、既存の画像編集ソフトでは、このような変褪色画像を修復するには大きな困難が伴うのである。但し、黄変部分が単一色域、もしくはごく限られた色域のみに限られている場合（例えば、青空部分のみに黄変部分が限定されているなど）は、既存の画像編集ソフトでも比較的容易に修復できることがある。

### 3. 不均等黄変画像の修復編集をサポートするためのアルゴリズム

筆者は、このような不均等黄変画像を補正するアルゴリズムとして、以下のようなものを考えた。

#### 3-1. 他チャンネル情報流用アルゴリズム

図2のRGB分解画像を見ると分かるように、それぞれのチャンネルの画像はかなり似通っている。画像によっても異なるが、一般的な風景写真の場合チャンネル間の明度の値の相関係数は、筆者がいくつかの変褪色のない画像について計算したところ、R-G間が最も高く0.97-8前後、次いでG-B間が0.95前後、R-B間が0.90代前半程度であった。R-G間が最も高いのは植物の緑において、RとGの値が似ている場合が多いため、都市部の景観などでは、R-G間よりもG-B間の相関が高くなることもあった。

このようなことから、他チャンネル情報を流用して補正する、というアルゴリズムが考えられる。これは、既存の写真現像ソフトでも、ハイライト・クリッピングが発生したときに、クリップしたチャンネルの情報を修復するために、情報の

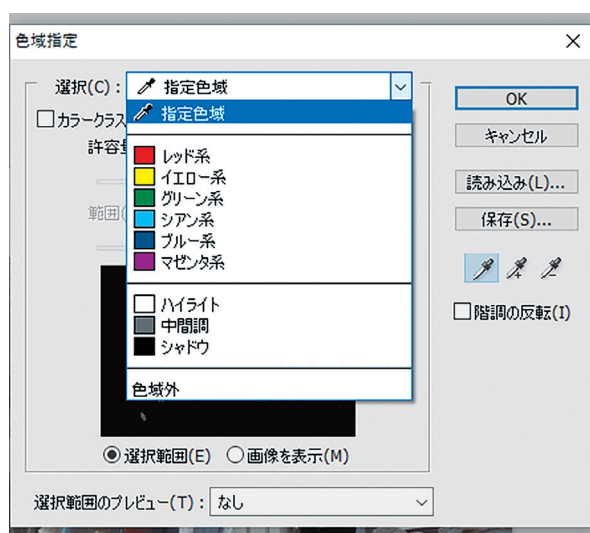


図4 Photoshopの色域指定オプション



残っている他チャンネルの情報を流用することが行われている。Bチャンネルを修復するには、比較的相関の高いGチャンネル画像を流用することが考えられる。しかし、単純にBチャンネルとしてGチャンネルの画像を代入すると、黄変は確かに消えるが以下のように青い部分が緑に傾いた不自然な画像になる。これは、青い部分はBチャンネルの値が高く、GおよびRの値が低い、Gを代入したため、BとGの値の差がなくなってしまうためである。したがって、なるべくBチャンネルとGチャンネルの違いを維持しつつどのようにGチャンネルの画像データをうまくBチャンネルに流用するか、工夫が必要になる。例えば、単純にBチャンネルとしてGチャンネル画像を代入するのではなくBチャンネル画像とGチャンネル画像をミックスして使うなどが考えられる。

### 3-2. 拡張疑似フラットフィールド補正アルゴリズム

デジタルカメラのセンサーのほこりや、レンズによって発生する周辺光量の低下などを補正する方法として、フラットフィールド補正がある。これはカメラで撮影対象を撮影する前に、真っ白な乳白色の亚克力板などを撮影しておく（フラットフィールド画像）。その後、実際に撮影したい対象を撮影後、その画像からフラットフィールド画像の情報を差し引くことによって、センサーのほこりやレンズ等に起因する光量の低下に伴う影などを補正する技法である<sup>4)</sup>。



図5 図1のBチャンネルにGを代入した画像

しかし、予めフラットフィールド画像を撮影しておかなかった場合でも、疑似的にフラットフィールド補正を行う方法がある。ある画像に対し、その画像を大きくガウスぼかしを掛けた画像を用意し、そのぼかした印影をオリジナル画像から差し引くことで、レンズによる周辺光量の低下などを補正することができる。これを疑似フラットフィールド補正 (pseudo flat-field correction) という<sup>5)</sup>。但し、疑似フラットフィールド補正では、大きくぼかした画像をフラットフィールド画像の代用として使うため、きめの細かいほこりや傷などを補正することはできない。

筆者は、この疑似フラットフィールド補正アルゴリズムを黄変部分の析出に応用することを考えた。仮に、変褪色前の正常な画像が入手できたとする。その画像を使って不均等な黄変部分を析出するには、黄変した画像のBと正常な画像のB画像の両者にガウスぼかしを掛け、その差分（正常なB画像－黄変B画像）をとれば黄変部分を示す疑似フラットフィールド画像に相当する画像が得られるはずである。その画像を黄変した（＝B値が本来の値より下がった）Bチャンネル画像に加算すれば黄変相当部分を補正したBチャンネル画像が得られる。

しかし、当然ながら正常なB画像は得られないので、G画像を正常なB画像の代用として使い、それを基に作成した疑似フラットフィールド画像（G画像－黄変B画像）を黄変B画像に加算することで補正することを考えた。この補正の特徴



図6 拡張疑似フラットフィールド補正により析出された黄変（白抜き表示）

は、黄変によりより低くなったB値のみを補正し、B値がG値より高い部分はいじらないので、単純にB画像の代わりにG画像を代入するよりも、よりBとGの違いを残すことが可能である。このアルゴリズムを拡張疑似フラットフィールド補正(Extended pseudo flat-field correction)と命名する<sup>6)</sup>。

### 3-3. 他チャンネル画像を暫定的なレファレンス画像に使う問題点

以上の方法は、方法は異なるとは言え、いずれも他(G)チャンネル画像をBチャンネルの代わりにレファレンス画像として使用する補正方法と言える。しかし、Gチャンネルをレファレンスとして使うと元々BとGの値が近い色では、BとGの値が近づいても問題はないが、離れている場合は問題になる。

例えば、サンプルとして挙げた画像の場合、青い部分に黄変がかかっているのがみられるが、これに例えばそのまま拡張疑似FFCを適用した場合、これによって析出される黄変部分は以下の図のようになる。この図を見てわかるように、青い部分の黄変は十分に析出できない。なぜならば青い部分が黄変して本来の値よりB値が低くなっていたとしても、依然としてG値より高い部分は析出できないためである。

また、G情報をB画像の補正に流用すれば当然のことであるが、拡張疑似FFCでありB値がG値を上回る部分は補正されないとはいえ、多かれ少なかれBチャンネルの値がGチャンネルの値に近づくのは避けられない。例えば、本来、B値がG値を下回るのが当然な部分(黄緑色、鶯色、オレンジ色、褐色など)であってもB値が上方に補正されてしまう。これらについても、追加で補正できるような手段を講じる必要がある。

また、当然ながらGチャンネルをレファレンスとして使ったBチャンネルの補正は、原理上、黄変部分のみならず本来黄色い部分に関してもB値を上昇させてしまうので、このような部分について補正を除外するような編集が必要となる。

## 4. プログラムの実装

### 4-1. 黄変写真編集の基本的な流れをどう考えるか

このようなアルゴリズムを備えたプログラムの実装に関しては、以下のように考えた。まず、オリジナルの画像から黄変補修編集に使う素材ファイルを作成するプログラムは、生物学医学研究分析で広く用いられるフリーソフトウェアであるImageJ (Fiji distribution)<sup>7)</sup>上のPythonプラグインスクリプトとして開発するとともに、ImageJ上で作成した編集素材ファイルを、ユーザには画像のレイヤー編集に対応したフリーソフトウェアGIMP上で実際の編集に当たってもらうことにして、ImageJで作成した画像の読み込み、画像合成を行うGIMP用のPythonプラグインスクリプトを作成することにした。

このように考えた理由は、まずなるべく様々なOSに対応したツールとして開発したかったことがある。ImageJ、GIMPともWindows、MacOS、Linuxのいずれにも対応している。そしてPythonスクリプトとして作成すればOSごとにコンパイルする必要がなく、一般ユーザにとっても比較的導入しやすい。またImageJ、GIMPともPythonに対応しているので、複数の言語を使わずに済むためである。

一方、GIMP内で完結させなかった理由は、画像計算を行うAPIはImageJが充実しており開発しやすい(但し、ImageJは写真の編集が目的ではないため、レイヤー編集をサポートしておらず、カラーマネジメントにも非対応)、GIMPはメジャーバージョンアップごとにPythonスクリプトで使えるAPIの仕様が大きく変わり、メンテナンスがより困難であるためである。したがって、GIMPに関しては作成するプログラムの範囲を画像の入出力にかかわる最小限のものに限定した。

### 4-2. ImageJ対応編集素材画像生成プラグイン

ImageJに対応した黄変補正編集のための素材画像を生成するプラグインスクリプトは、上記アルゴリズムを複合して使うとともに、作成する画像を調整するためのパラメータを調整するユーザ

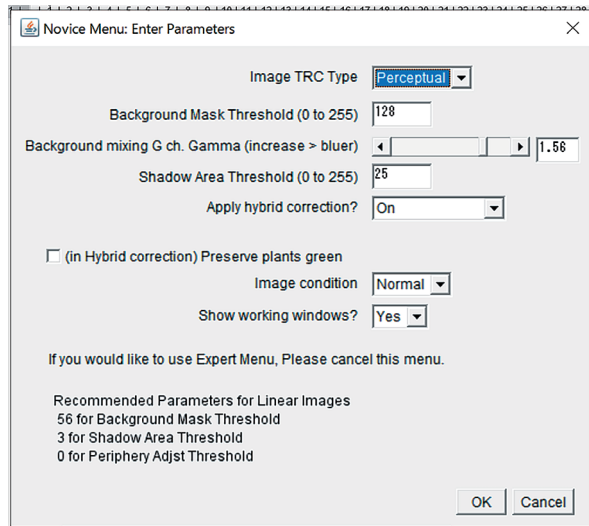


図7 ノービスメニュー UI

インターフェースを装備した。

このプラグインを起動すると最初にノービスモード・メニューが表示される。このメニューで調整する必要があるパラメータは、多くの場合、植物の緑の部分の補正を除外するかどうかのオプションと、画像の荒れがひどいかどうかを選択するオプションの2つのみであり、それ以外はデフォルトで問題ない。この範囲の調整で、おそらく9割以上の黄変画像が修復可能と思われる。

但し、この設定でパラメータ調整が不十分な場合、ノービスメニューをキャンセルするとエキスパートモードメニューに移り、さらに細かくパラメータを調整することができる。このモードでは、例えば、図1の写真の場合、青い部分のみにかかるマスクを別途作成し読み込ませ、その部分のみパラメータを変えて処理することで、青い部



図8 青い部分を指定したマスク

分の補正が不十分になる問題を回避することができる。

### 4-3. GIMP対応編集作業サポートプラグイン

ImageJ上で作成した編集用素材画像ファイルをGIMP上で編集しやすいように順番に読み込むプラグイン、および、編集終了後、補正されたBチャンネル画像を合成し、さらにそれを基にRGB合成画像を生成するプラグインを作成した。

### 4-4. ImageJ対応追加補正マスク作成プラグイン

すでに述べたように以上のツールでBチャンネルを補正してしても、B-G値の近接により、本来の値とずれてしまう部分が出てきてしまう。このような部分を補正するツールとして、RGBの相対値に基づき、ImageJ上でマスク画像を作成するツールを作成した。このツールは、上に例として挙げたPhotoshopの相対値に基づいて色域を指定するツールの考え方を拡張し、レッド／シアン、グリーン／マゼンタ、ブルー／イエローの閾値をより柔軟に設定できるようにするとともに、マスクの透過度もより柔軟に設定できるようにパラメータを増やして、マスク画像ファイルとして出力するようにしたものである。このツールで作成した画像を、GIMPにマスクとして読み込むことにより、B-G値の近接により本来の色を再現できない部分をGIMP上で補正できるようにした。

## 5. 本ツールを使った黄変褪色補正の実際

本ツールはImageJもしくはGIMPのプラグインフォルダにコピーすることで、ImageJ、GIMPのメニューから実行することができる。まずImageJ上で編集素材作成用のプラグインを所定のパラメータを入力して実行し、編集素材作成用ファイルを作成する。次にGIMPを起動しファイルを所定の順番で読み込む。これには、次の各レイヤーが含まれている。R画像、G画像、暗部補正レイヤー、周辺褪色補正レイヤー、遠景補正レイヤー、近景補正レイヤー、オリジナルB画像、各種レイヤーマスクバックアップ画像である。こ



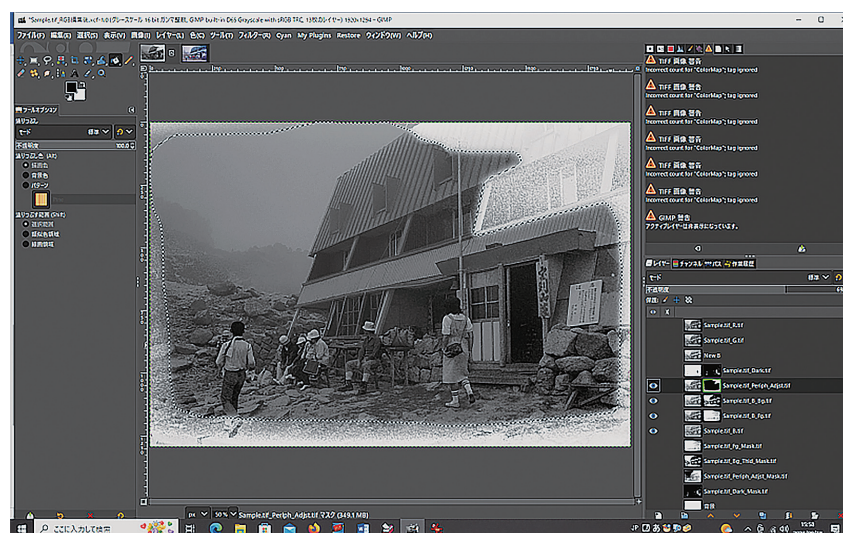


図9 GIMP上の編集画面

のうち周辺褪色補正レイヤーはRおよびG画像を50%ずつミックスした画像をレファレンスとして拡張疑似FFCを適用した画像、遠景補正レイヤーはBとG画像を3:7でミックスし、それを明るくした画像、近景補正レイヤーはG画像をレファレンスとしてBにたいし拡張疑似FFCを適用した画像である。それぞれ予め調整のためのマスクを掛けている。この上でユーザは、画像を見ながら、各補正レイヤーを編集して補正の適用、不適用範囲を決めたり、各補正レイヤーのオン/オフを決定したりして、新たに再構成するBチャンネル画像を編集する。編集を終えたら、必要なレイヤーのみオンにして、チャンネル合成プラグインを起動すると、この編集結果に基づいて新たなBチャンネル画像を合成するとともに、さらにRGB合成を行って補正画像を作成する。この補

正画像でも、図3の単純にBチャンネルとしてG画像を代入した画像に比べて青が比較的良く保たれているのが確認できる。

一旦作成した合成画像を基に、さらにRGBの相対値に基づきマスク画像を作成するツールを使って、G-B値の接近に伴い元の色彩が十分復元できていないと思われる部分、あるいは、スキャニングデバイスの特性などに起因する色彩を補正すべき部分を含んだマスク画像を指定し、そのマスクをGIMP上に読み込んだ上で、このような部分をトーンカーブや色のレベル補正などのGIMP上の色調補正ツールを使って調整を加えていく。このようにして調整した結果が上の右側の画像である。ご覧のように不均等な黄変部分はほぼ消えており、周辺部分の青紫の変色もかなり補正されているのが分かる。



図10 (左)一旦合成した画像 (右)最終調整した画像



## 6. 本プログラムの利用について

本プログラムは、Creative Commons、Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) ライセンスの下、以下の URL にて公開している。

<http://www5b.biglobe.ne.jp/~yohnishi/files/>

## 文献

宮川俊夫, 1975a, カラー写真画像の安定性と変退色I: フィルム, プリント画像の安定性と保存法, 『日本写真学会誌』38-1: pp.5-13

宮川俊夫, 1975b, カラー写真画像の安定性と変退色II: 変退色の化学機構, 『日本写真学会誌』38-3: pp.247-260

宮川俊夫, 1985, 写真の保存 (IV): 長期保存の立場から見たカラー写真材料, 『日本写真学会誌』48-2: pp.96-103

宮本昭彦, 1971, 2, 5-Di-t-octylhydroquinone の共存下に於けるシアン画像の光退色機構, 『日本写真学会誌』34-3: pp.154-158

森垣政和, 1997, カラー写真用色素の耐久性と制御, 『色材協会誌』, 70-12, pp.797-807

## 注

- 1) インターネット上で、英語を使って、ネガカラーフィルムの褪色やその補正に関する記事を検索しても、日本で典型的な黄変褪色したネガカラーフィルム画像の事例がそもそもほとんど見つからず、あっても日本人と思われる人がアップしているケースが大半である。通常は、黄色く褪色している事例があっても、不均等ではなく、全面的にBチャンネルが褪色したケースである。
- 2) 一般的にフィルムや印画紙が褪色する原因に関しては光、熱、水分、化学物質が指摘されている (宮川, 1975a)。またフィルムや印画紙の黄色染料は加水分解しやすいこと (宮川, 1975b および 森垣, 1997)、カラーフィルムに使われる汚染防止剤DOHQがシアン色素の光耐候性を著しく低下させること (宮本, 1971)、現像処理後に残留するチオ硫酸イオンが変褪色の大きな原因の一つであること (宮川, 1985) などが指摘されている。しかし不均等な黄変の原因について言及している文献は管見では見当たらなかった。
- 3) GIMP は、色の類似度の計算に RGB 色空間における  $\Delta E$  を使っている。以下のソースコードを参照のこと。  
<https://github.com/GNOME/gimp/blob/125cf2a2a3e1e85172af25871a2cda3638292fdb/app/core/gimpimage-contiguous-region.c#L290>  
おそらく Photoshop などと同様であると推定される。
- 4) これは Nikon のカメラではイメージダストオフ、

Canon ではダストデリートデータ機能として知られる。

- 5) ImageJ for microscopy: 7.1 Flat-field correction (ImageJ net)

[https://imagej.net/mbf/image\\_intensity\\_processing/intensity\\_flat](https://imagej.net/mbf/image_intensity_processing/intensity_flat) (2023.8.31 閲覧)

- 6) 以下、フラットフィールド補正を FFC と略す。

- 7) 以下、ImageJ とある部分はすべて ImageJ/Fiji distribution を指す。なお、ImageJ の公式サイトは、<https://imagej.net/> である。