文系学生のための生物学教材の改良、Ⅳ：被子植物の蜜標　その1　紫外線画像処理

山岡景行*

Improvement of teaching-materials of Biology for the Departments of Humanities students Ⅳ: Nectar guide of the flowering plants, Part 1 Ultraviolet image data processing.

Kageyuki YAMAOKA*

Abstract

In order to impress the students about the biological importance of the flower color pattern, or a nectar guide, the author studied the method to make presentation effectively on the procedure of the image data processing in the presence of students at the class room. Two types of optical filters, U340 (Kenko) and BPB-42 (Fuji film), were tested to take UV images of flowers. False color images were composed from RGB color images whose red component was cut off and UV images converted into red images. Sharp and good contrasted gray-scale images were made from UV images. These image data processing were carried out by using Adobe Photoshop.

Keywords：

生物学、生物学実験講義、実演実験、蜜標、紫外線画像処理

はじめに

近年の学生の関心を念頭に置いた生物学と生物学実験講義用の教材研究を行ってきた(山岡、2005、2006a、b、2007、2008)。その一環として学生の前で行う実演実験のメニュー

*東洋大学自然科学研究室、文学部中国哲学文学科気付　〒112-8606 東京都文京区白山5-28-20
Natural Science Laboratory, Toyo University, c/o Department of Chinese Philosophy and Literature. 28-20, Hakusan 5, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8606, Japan
e-mail: yamaoka3@toyonet.toyo.ac.jp

も開発してきた。今回は蜜標（nectar guide）の教材化について報告する。

被子植物の花に、特に近紫外線を吸収する蜜標と呼ばれる特別なパターンがあり（e.g. Davies *et al.*, 2005）、ポリネーターに蜜腺の所在を示したり、着地すべき足場を示すと考えられている（Thompson *et al.*, 1972；Thorp *et al.*, 1975；Kevan, 1976, Penny, 1983；Waser and Price, 1985；Dyer, 1996；Grunquist *et al.*, 2001；内海、2002、2003；Schwinn *et al.*, 2006；Syafaruddin *et al.*, 2006, *etc.*）。一方、1920年代からミツバチ等の訪花昆虫が近紫外部の光線を見ることができ、花の紫外線パターンを認識することが知られている（Lutz, 1924, 1933；Frish, 1950；Daumer, 1956, 1958；Goldsmith and Fernandez, 1968；Menzel, 1979, *etc.*）。

本報は、学生の興味を惹起し得ると共に理解を助け得る教材開発の一環として、講義科目生物学でも生物学実験講義でも利用可能な蜜標の紫外線擬似カラー画像の作成方法を報告する。学生の目の前で画像撮影もできれば申し分ないが、花そのものに季節的制約があるので予め撮影した画像を使わざるを得ない。単に完成した蜜標の画像を提示するだではなく、可視光画像と紫外線画像を合成処理して擬似紫外線カラー画像を作成する過程を見せることにより印象づけの効果を高めることを意図した。

なお、本報では以下、紫外線をUV、赤領域をR、緑領域をG、青領域をBと表記する。

1. UV画像の撮影

1-1. カメラとレンズ

使用したカメラは単板CMOSセンサー、有効画素数800万の一眼レフEOS Kiss Digital N（Canon）である。マクロ撮影には中望遠マクロレンズ、EF100mm F2.8 Macro USM（Canon）を使用した。等倍撮影で149mmのワーキングディスタンスが確保できるので、UVフィルターのアダプターの操作が容易であり極めて便利である。望遠撮影を要する場合はAF20-300mm F/2.5-6.3 XR Di LD Aspherical Macro（Tamuron）やEF 100-400mm F4.5-5.6L IS USM（Canon）を用いた。以上は、全て残念ながら私物である。

撮影時の光源は、ポリネーターの色覚を考え合わせればUV領域を含む必要があるので太陽光自然照明が理想的と言える。そこで、晴天の野外で撮影することを原則としたが、長時間露光を要する撮影は無風または微風の時を選び、あるいは窓を開け放った室内の窓辺で採光し、レフ板を用いた照明下で撮影した。

2-2. UV透過フィルター

a. ケンコー光学工業用標準フィルターのUV透過・可視光吸収ガラスフィルターU340（最高透過率波長340nm、二次透過帯700-750nm、サイズ50×50mm、厚さ2.5mm、図1a）をケンコー光学の50mm角フィルター用ねじ込み式のホルダー（口径52mm、図1b）にセットしてステップダウンリング58→52mmを用いて上記マクロレンズに装着可能にして使用した（図1c）。他にU310、U360もあるが、近紫外部の透過率と、最大透過率の約2倍に当たる2次透過帯の透過率のピークが小さいことからU340を採用した。

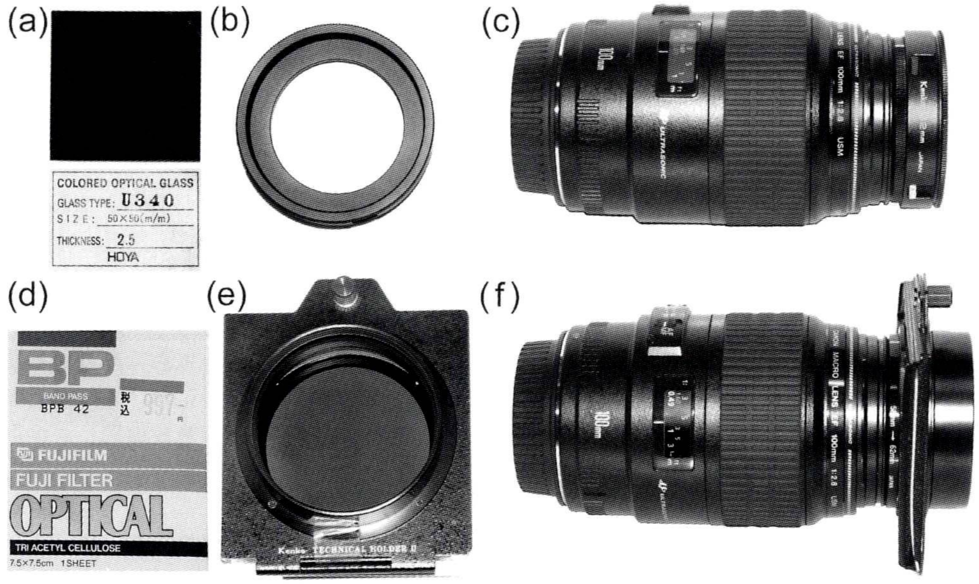

図1　UV 透過フィルターとアダプター
(a) ケンコー光学 UV 透過・可視光線吸収ガラスフィルター U340、(b) ケンコー光学 50 mm 角型フィルター用ホルダー、(c) Canon 中望遠マクロレンズ EF100 mm F2.8 Macro USM に装着した状態、(d) 富士フイルムバンドパスフィルター BPB-42、(e) ケンコー光学テクニカルホルダー 2、(f) レンズ（同上）に装着した状態。

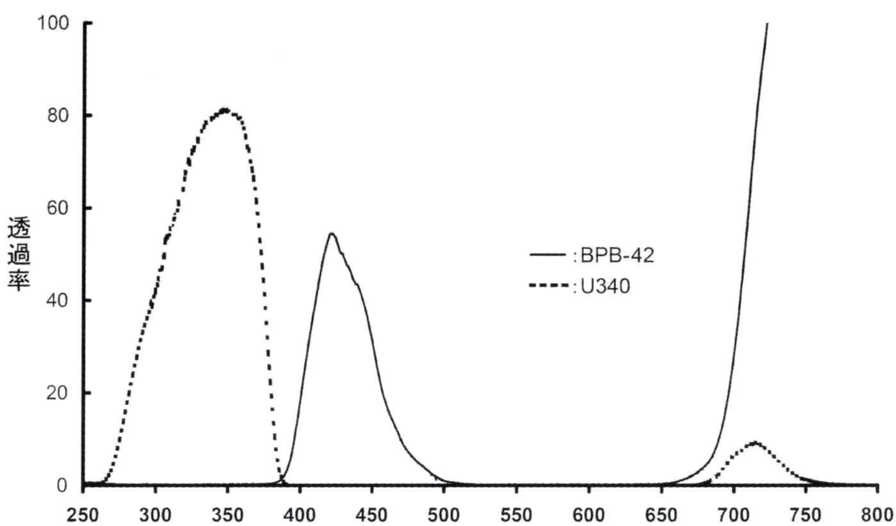

図2　UV 透過フィルターの透過スペクトル
実線：富士フイルム光学フィルター：バンドパスフィルター BPB-42、破線：ケンコー光学工業用標準フィルター：UV 透過・可視光吸収ガラスフィルター U340。各フィルターのスペクトルは分光光度計（Ocean Optics USB2000）を用いて 10 回の計測した結果の平均値をプロットしたものである。

b. 富士フイルム光学フィルターのバンドパスフィルターBPB-42（7.5×7.5 cm、tri acetyl cellulose sheet、図1d）をケンコー光学のテクニカルホルダー2（76 mm 角用、口径62 mm、図1e）にセットしてステップダウンリング（58→62 mm）で上記マクロレンズに装着可能にして用いた（図1f）。

各フィルターを分光光度計（Ocean Optics USA、USB2000）のセル用アダプターの光路にフィルターをセットして透過スペクトルを計測して比較した（図2）。U340の透過スペクトルは、二次透過帯の小さなピークを720 nm あたりに有するが、UV 透過・可視光カットフィルターとしてほぼ理想的である。しかし、晴天でも使用したデジタルカメラでは60〜90秒のbulb露光を要し、その場合はデータ処理にも60〜90秒を要した。UVの合焦点が可視光より短く、おまけにファインダーで画像を見ることは不可能であるから勘に頼ったフォーカシングを試行しなければならない。したがって、屋外においては余程無風でない限り、まともな画像を撮影することは困難である。つまり、多数枚撮影して焦点と露光が適切なものを選び出す撮影のやり方には不向きなフィルターである。

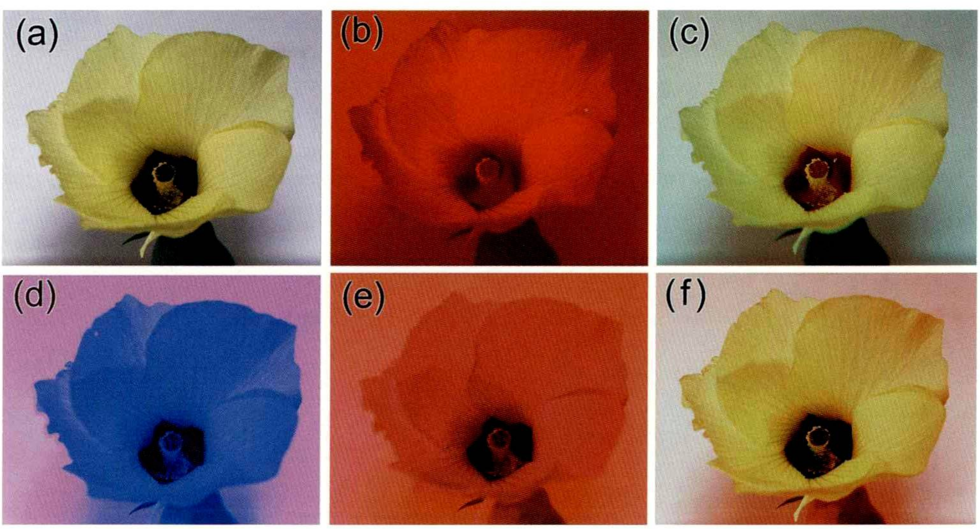

図3 UV 透過フィルターU340とBPB-42で撮影したオクラ（*Abelmoschus esculentus*）の花の画像処理
(a)：可視光RGB画像、(b)：U340画像F2.8 90 sec露光、(c)：可視光RGB画像（a）からR成分を除去した画像とU340画像（b）の50%透過画像と合成した擬似UVカラー画像、(d)：BPB-42画像F2.8 0.5 sec露光、(e)：BPB-42画像（d）からRとG成分を除去して色相をBからRに変換した画像、(f)：可視光RGB画像（a）からR成分を除去した画像と（d）をRに変換をした画像（e）の50%透過画像を合成した擬似UVカラー画像。結果として（c）と（f）で、良く似た結果を得ることができ、画像データ処理によりBPB-42をU340の代用として使用することが可能であることが判明した。使用したレンズはEF100 mm F2.8 Macro USMである。擬似UVカラー画像の作成法は後述の通りである。

BPB-42は最高透過率を420 nmに示し、近紫外部を僅かに含む380〜500 mmを透過する一方、680 nmから800 nm以上の赤外部を良く透過するので（図2）、理想的なUV透過・可視光カットフィルターとは言い難い。しかし、カメラ本体を暗幕で遮光する等すれば晴天下の野外でもファインダーで画像を確認しながら焦点調節がある程度可能である

し、自動露出機能を使うことも不可能ではない。露光時間も晴天時には1/2秒から数秒ですむことも利点である。近紫外部の透過率が悪いことと、680 nmよりも長波長の透過率が高いことは、図3に示す如く画像処理技術で、ある程度はカバー可能である。

フィルターアダプターも、可視光画像とUV画像を等距離・等アングルで撮影しなければならない擬似UVカラー画像を作成するためには少なからず影響する。U340用のねじ込み式角型フィルターホルダー（図1b）は着脱時にカメラ本体やレンズのフォーカシングリングに影響を与えかねないが、BPB-42用のテクニカルホルダー2（図1e）は簡単にフィルターの着脱が可能で、振動等の影響が少ない。図1eの下部が蝶番部であり上部の摘みを半回転してフックを外すと前方に開くので、開く側にフィルターを粘着テープで固定する等の工夫によりワンタッチでフィルターを着脱できることも便利である。

以上の理由で、以下のUV画像撮影には専らBPB-42を使用することにした。

2. UV画像の処理

筆者が蜜標の鮮明なUV画像を初めて見たのは福岡教育大学理科教育講座の福原達人先生の植物形態学の素晴らしいホームページの「UV透過フィルタで撮った花」のページであった（福原、2008b）。このホームページ自体、福原先生が福岡教育大学で担当する植物形態学のテキストであり、授業中に映写したり、学生に配布して自習する助けとするために作成されたものの一部であると言う（福原、2008a）。筆者の授業を改善してゆくために有用な情報が満載されており、印刷物として見るべき価値があると考えて書籍として出版されていることを期待してメールで問い合わせた。残念なことに印刷物としての出版を考えておられないとのことで、やむを得ず膨大なデータを一括ダウンロード、プリントアウトして拝見している。時々webを訪れないと写真を中心として頻繁に更新されていることが筆者の悩みである。

UV写真の撮影機材や方法、画像処理の方法についての情報も記載したページが用意されているが（福原、2008c～f）、実際に画像処理うためにメール交信で細部の教示をいただいた。

2-1. 擬似UVカラー画像

可視光RGB画像とUV画像を等距離、同アングルで撮影してあれば、可視光のRGB成分の何れかを除去し、その代わりにUV画像を、除去した色相の画像に変換して合成することにより昆虫たちが見ている画像をミミックした疑似カラー画像を得ることができる。福原（2008e）は3つの方法を提唱している。第1は可視光RGB画像とUV画像が提供しうるR、G、B、UVの4成分の内R成分を除去したG、B、UVの各成分にR、G、Bを割り当てる方法で「一個ずらし」と名付けられている方法である。第2は「ビーカム風」と名付けられているNHKのデジタルフェア展示資料（http://www.nhk.or.jp/strl/open00/jp/j-26.html）類似の画像処理方法で、可視光RGB画像からR成分を除去し、UV画像をRに変換して合成する方法である。第3は「横澤氏風」（http://www.ne.jp/asahi/photo/uv.index.htm）と名付けられる、可視光RGB画像からB成分を除去してUV

画像をBに変換して合成する方法、すなわちB成分をUVと入れ替える手法である。

ミツバチを含む膜翅目昆虫がG、B、UVに感度特性を持つことはよく知られている（Autrum, 1965; Menzel and Blakers, 1976, *etc.*）。鱗翅目のアゲハチョウでは求蜜行動の作用スペクトルではG、V、UVの順で感度が高くなること、およびUV、V、B、G、Rに感受性をもつ5種類および400〜700 nmの広範囲をカバーする色受容細胞があることが知られている（Arikawa, 2003; 木下、2006、*etc.*）。したがって、R、G、Bの3原色で見ている人にとって昆虫たちが見ている色の世界はうかがい知ることは不可能であるが、UVを加味した疑似カラー画像を見ることによって、ポリネーターとしての昆虫が見てい

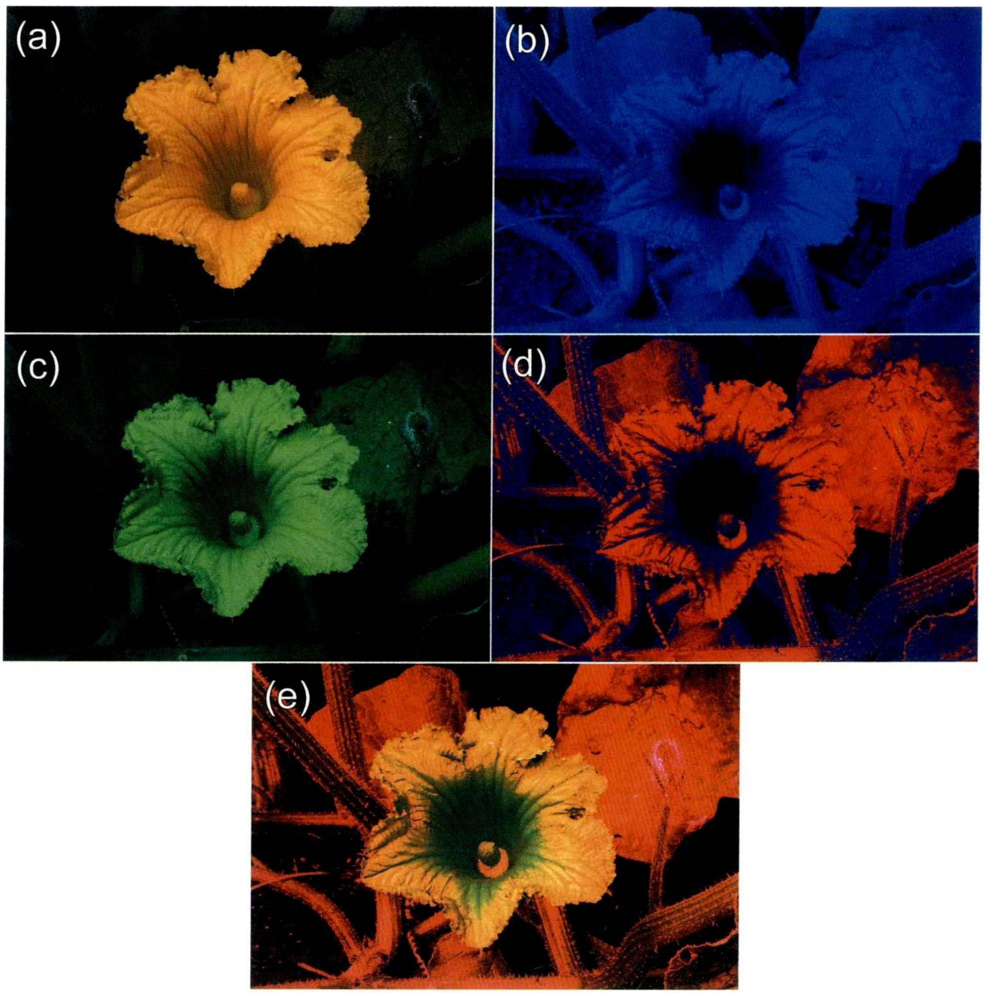

図4 「ビーカム」的擬似UVカラー画像の作成手順
(a) 西洋カボチャ *Cucurbita maxima* の雄花可視光RGB画像、(b) 同、BPB-42画像、(c) 可視光RGB画像からR成分を除去した可視光GB画像、(d) BPB-42画像からR、G成分を除去し、さらに色相をRに変換した画像（擬似UV・R変換画像）、(e) 可視光GB画像（c）に擬似UV・R変換画像（d）を不透明度50%にして合成した完成画像。

るであろうカラーパターンを推察することができる。その意味でUVをRに変換してGB画像と合成するNHKの「ビーカム」方式は、R感度が低くGBとUV感度が高いミツバチ的色空間を擬似的に表現することができる。5原色とも言えるアゲハチョウの色空間を擬似的に示すことはヒトの色空間からして完全に不可能であるが、アゲハチョウの求蜜行動の作用スペクトルでG、V、UVの順で感度が高くなること（木下、2006）を考えれば、「ビーカム」方式にすることは合理的であると考えられるので，以下、「ビーカム」方式を採用することにした（図4参照）。

福原（2008e）は同距離・同角度で撮影した可視光RGB画像とUV画像とを合成して擬似カラー画像を作成するためにフリーソフトのJTrim（http://www.woodybells.com/jtrim.html）を使用しているとのことであった（福原、私信）。試みにJTrimを使用してみたところ、フリーソフトにしては簡便かつ強力なフォトレタッチソフトである。「RGBの度合い」と言うコマンドはRGBの何れかを除去することが、また「RGB交換」というコマンドはRGBをGBR、BRGと交換することがワンタッチで行える。裏腹に、ユーザーにとってはデータ処理がどの様に成されているかを画面上からは理解することが難しい。結果を知るのみであるために、学生の前で実演してみせる目的からすると欠点になる。また、屈折率の違いによる合焦点位置の差に起因する可視光RGB画像とUV画像のサイズ合わせはかなり熟練を要し、実演用としては難しい様に思える。そこで、手持ちのホトレタッチソフト、Adobe社のPhotoshopで実行する方法を検討することにした。Adobe社の「ユーザーガイド」は画像処理の専門家用に作られていると見えて、慎重に読んでみても使いたいコマンドをどの様に呼び出せるのか手順が書かれていないものが大部分である。各コマンドの説明文も、他のアプリケーションでそれほど困難を感じたことがない筆者にとっても難解なものが多い厄介なプログラムである。色相変換と合成が主な処理操作であるから限られた範囲のコマンドを使いこなせば良いので、学生に実演して見せる際に何がどの様に画像が変換されたり処理されるのかを見せられる様に心がけつつ、使用すべきコマンドにおおよそ見当をつけ、試行錯誤をすることにより、一応その目的を達し得た。なお、筆者が使用したヴァージョンはPhotoshop CSおよびPhotoshop CS3である。

a. 可視光線RGB画像からR成分の除去する手順

可視光画像を開き（図4a参照）、「メニューバー」の「イメージ」→「色調補正」→「レベル補正」を選び（図5a、○囲み参照）、「レベル補正」ダイアログボックスを開く（図5b）。

「チャンネル」が「RGB」になっている。ここではR成分を除去するので「レッド」を指定し（図5b、○囲み参照）、「出力レベル」のハイライトスライダー（△）を左一杯にスライドする（図5b、○囲み参照）。シャドウスライダー（▲）も左一杯にセットされていることを確認すると、出力レベルが（0, 0）にセットされ（図5b、○囲み参照）、R成分が完全にカットされた「可視光BG画像」が得られる（図4c参照）。

b. BPB-42画像からRとG成分を除去する手順

同様にして「色調補正」「レベル補正」コマンドで、チャンネル「レッド」と「グリーン」の出力レベルを0にしてBチャンネルだけを残す。この事により図2に示すBPB-42

の二次透過帯のR成分と500 nm前後のG成分をカットし、フィルターの不十分な特性を補正した擬似UVカラー画像を得る。

c. BPB-42擬似UVカラー画像をR画像に変換する手順

RとG成分を除去したBPB-42画像擬似UVカラー画像を開いておき、「イメージ」→「色調補正」と進んで開くプルダウンメニューから「色相・彩度」を選び（図6a赤丸参照)、「色相・彩度」ダイアログボックスを開く（図6b)。BPB-42画像擬似UVカラー画像の色相はB画像なので、「編集」の対象は「マスター」のままにして学生に色相変換過程を見せるためには「色相」のスライダーを＋側にドラッグして色相を調整すると、「色相・彩度」ダイアログボックス下方色相を示すバーの、上段が基の色相、下段が変換される色相が動的に表示されてB→R変換の様子が確認できる（図6bの色相・彩度ウインドウ下段の下向き青矢印と上向き赤矢印は筆者が加筆した)。色相変換を数値指定する場合は、＋120でB→R変換が行え（図6b、赤○囲み参照)、「擬似UV・R変換画像」(図4d参照図)が得られる。

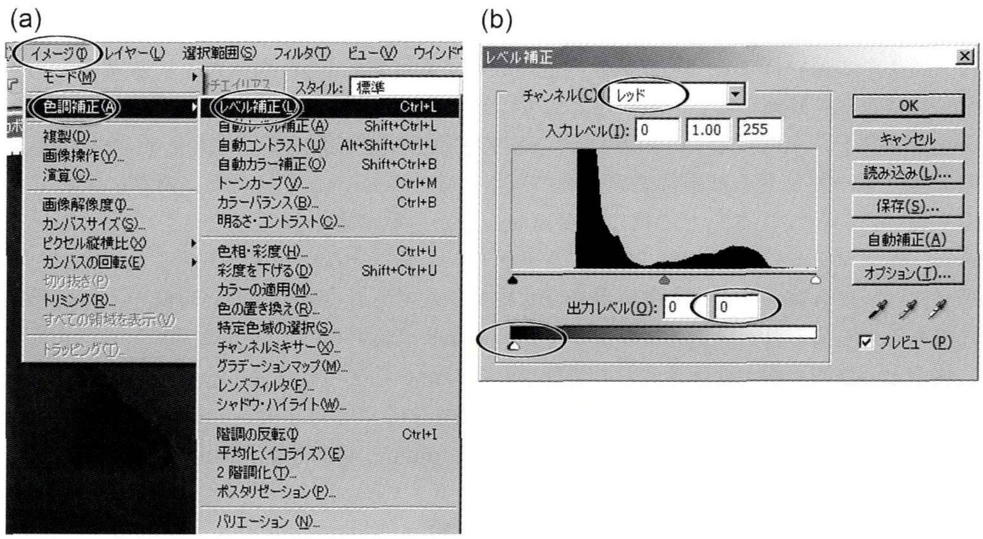

図5　可視光RGB画像からR成分を除去する手順
(a)レベル補正コマンドの選択手順、「イメージ（I)」→「色調補正（A)」→「レベル補正（L)」を選び、(b)R成分の除去手順、開かれる「レベル補正」ウインドウの「チャンネル（C)」で「レッド」を選び、「出力レベル（O)」を（0, 0）に合わせてR成分をカットする。

d. 画像合成手順

可視光GB画像（図4c参照)と擬似UV・R変換画像（図4d参照)を合成する手順を図7に示す。「画像操作（Y)」に画像を合成するコマンドが準備されているが、合成位置や拡大縮小等が微調整できないなど、今回の目的には合わないので、以下の方法を採用した。

［1］合成する画像を開き、移動で合成する。

可視光GB画像と擬似UV・R画像を開いておき、擬似UV・R画像を、メニュー

バーの「選択範囲」から「全てを選択」して「ツールバー」右上の「移動ツール」を用いて可視光GB画像上にドラッグし、移動する。この段階で画面右下のレイヤーパレットには可視光GB画像が背景レイヤー、ドラッグされた擬似UV・R画像がレイヤー１になっている。なお、「パレット」は初期設定で画面右に表示される一群のボックスであるが何らかの理由で表示されていない場合もあり得るが、メニューバー

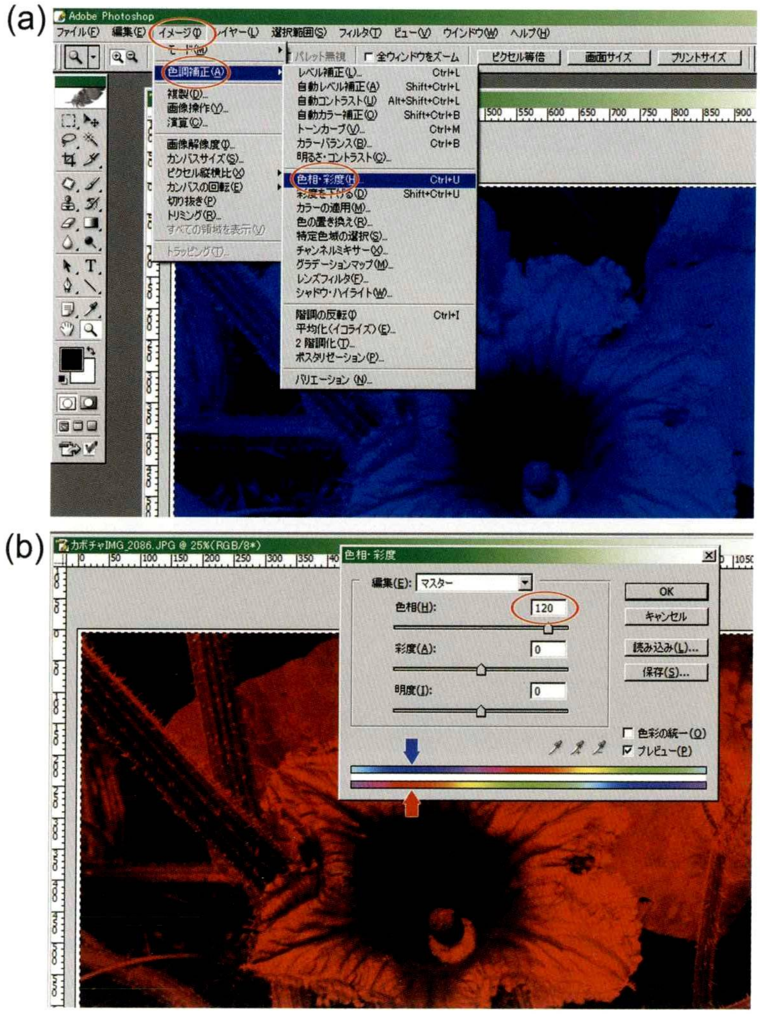

図６　BPB-42擬似UVカラー画像のR画像への変換手順
(a)色相・彩度コマンドの選択手順、「イメージ（I）」→「色調整（A）」→「色相・彩度（H）」を選び、(b)色相変換手順、「色相・彩度」ウインドウで「編集（E）」で「マスター」を指定し、「色相（H）」のスライダーをドラッグするか数値指定で120を入力してB→Rに変換する。この際ウインドウ右下のプレビュー（P)をチェックしてプレビューの色相バーのRGBがGBRの順になることを確認する。なお、ダイアログボックス下部の青矢印と赤矢印は、RGBをGBRに色相変換している状況を示すために筆者が挿入した目安であり、B領域がRに変換されていることを示す。

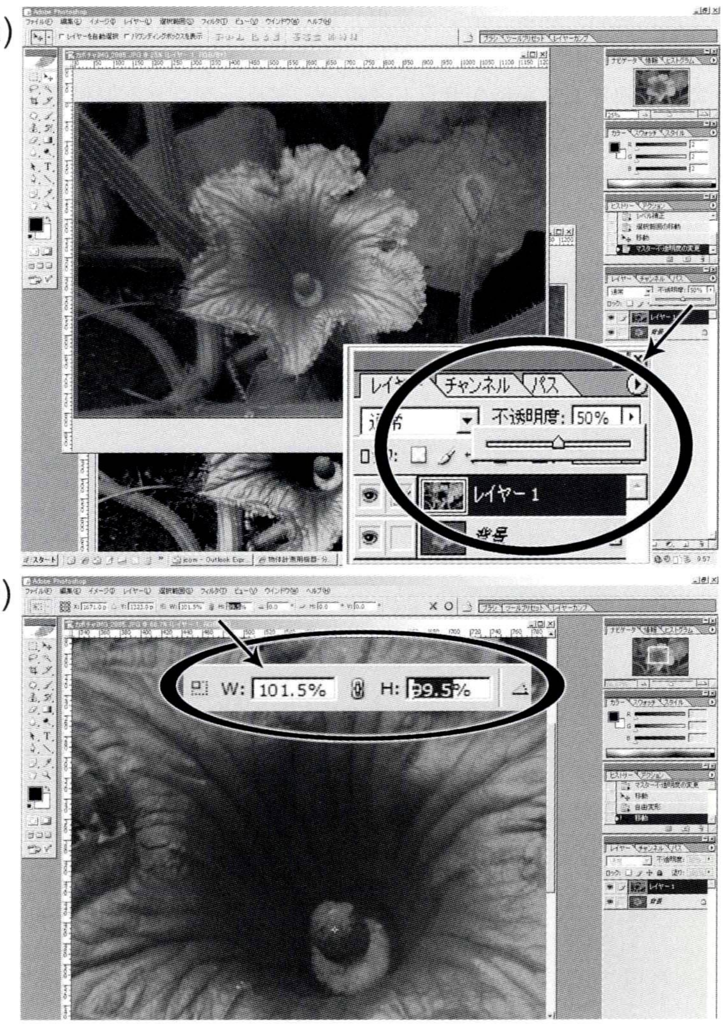

図 7 可視光 GB 画像と擬似 UV・R 変換画像の合成手順
(a) 合成基になる可視光 GB 画像（図 4c）に、合成すべき擬似 UV・R 変換画像（図 4d）を全て選択してドラッグする。可視光 GB 画像が背景レイヤー、擬似 UV・R 変換画像がレイヤー 1 となるので、レイヤー 1 の不透明度を 50%にセットする（インセットの楕円囲内を参照）、(b) レイヤ 1 の縮小率の決定手順、合成すべき擬似 UV・R 変換画像のサイズを背景画像に合わせるために、表示倍率が低い場合はバウンディングボックスをドラッグして概略サイズを合わせる。詳細にサイズ合わせをする場合は拡大表示してオプションバー（インセットの楕円囲内を参照）で数値入力して微調整を行う。

の「ウインドウ」→「ワークスペース」→「パレット位置を初期化」を実行すれば表示される。

［2］ 移動で合成した画像を透過画像にする。

「パレット」の「レイヤー」で「通常」を選び、合成する画像のレーヤーの「不透明度」を 50%に設定する（図 7a、囲み拡大挿入図参照）。スライダーで合わせるよ

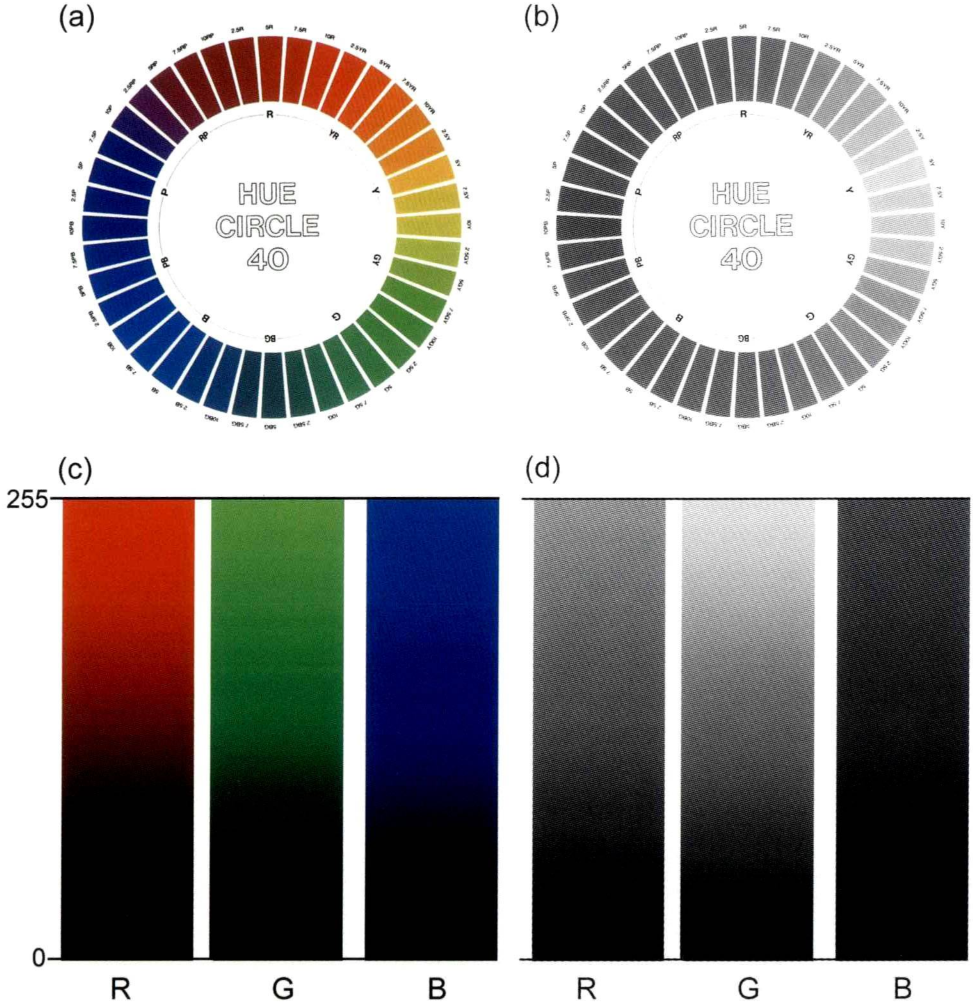

図８　RGB感度の差によるグレースケール化の問題
(a) HV/C基準色票マンセル表色系40色色相環（カラーエンジニアリング研究会（1980））を、レフ板を用いた太陽光間接照明で撮影した画像、(b)そのグレースケール画像、(c) Photoshopのグラデーション塗りつぶしコマンドを用いて256階調で作成したRGBグラデーション画像、(d)同画像のグレースケール画像。

りも数値入力した方が簡単である。この様にすることにより、可視光GB画像のレーヤーの上に新しく作られる擬似UV・R画像のレイヤーが透けて重なり合って表示される。

［3］拡大縮小と位置微調整で合成画像を完全に重ね合わす。

この段階で「レイヤーパレット」(通常、画面右のパレット最下部に表示されるパレットのこと)では上位の擬似UV・R画像のレイヤーがアクティブになっているの

でメニューバーの「編集」から「変形」→「拡大・縮小」を選び、上位のレーヤーのバウンディングボックスのハンドルをクリック&ドラッグしてアナログ的に拡大縮小および位置の微調整を行う。バウンディングボックスとは、選択対象を示すと共に拡大・縮小操作をするための四隅と各辺中央に表示されるハンドルのことである。

重ね合わせる画像の拡大縮小率を微調整する場合は画像表示倍率を大きくした方がよいが、バウンディングボックスも拡大表示されて画面外になるために使えなくなる可能性がある。その場合は拡大縮小のオプションバー（図7b、囲み拡大挿入図参照）に示す横(W)、縦（H)に数値入力をして微調整する。この様にして得られたフォールスカラー画像の例が図4eである。

2-2. 白黒UV画像

教材プリント等、カラープリントが不可能な場合はグレースケールのUV画像を利用せざるを得ない。福原（2008e)が明らかにしているようにBPB-42やU340の画像をそのままグレースケール化しても良いコントラストは得られない（図9a、b、c参照）。原因はデジタルカメラのRGB感度設定が均一ではなく、Gチャンネルに重みがおかれているからだという。そこで、筆者も使用しているデジタルカメラのカラー特性を調べてみた。

HV/C基準色票（カラーエンジニアリング研究会、1980)のマンセル表色系40色色相環を太陽光のレフ板を用いた間接均一照明で撮影した画像（図8a)、およびPhotoshopのツールボックスにあるグラデーションツールで、RGB (255, 0, 0)-black (0, 0, 0)、RGB (0, 255, 0)-black (0, 0, 0)、RGB (0, 0, 255)-black (0, 0, 0)で滑らかなグラデーションを作成してそれぞれ塗りつぶした矩形画像（図8c)と、それ等を単純に「イメージ」→「モ

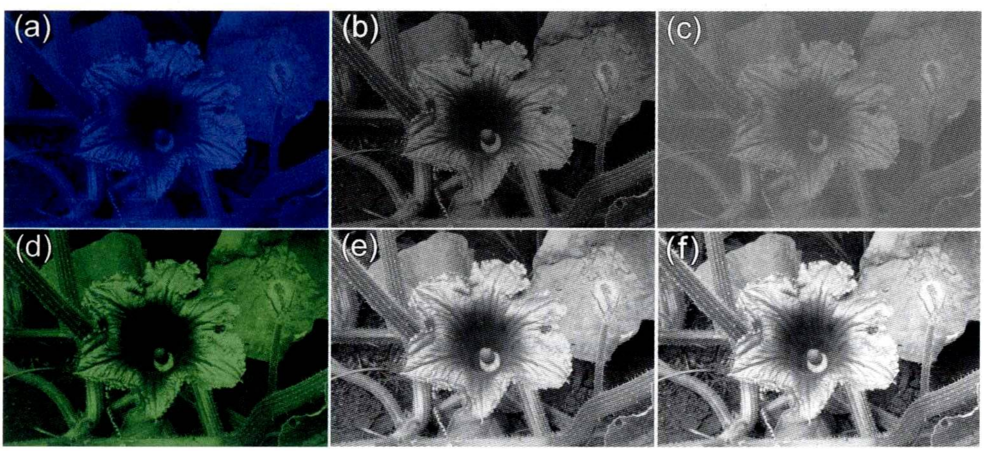

図9 擬似UVカラー画像から良好なグレースケール画像を作成する方法
(a) BPB-42画像からR、G成分を除去した擬似UVカラー画像、(b) その単純なグレースケール画像、(c) 更に明度とコントラストを調整した画像、(d) 擬似UVカラー画像を色相・彩度調整コマンドで変換したG画像、(e) そのG画像をグレースケール化し、明度とコントラストを調整した画像、(f) Photoshopのイメージ、色調補正の下の「チャンネルミキサー」コマンドで（a)の擬似UVカラー画像から得たグレースケール画像。

ード」→「グレースケール」コマンドで白黒に変換した画像（図8b、d)を比較した。

色相環のグレースケール画像はグリーンイエロー～イエローが相対的に明るく、レッド・パープル領域が一番暗く、ブルー～ブルーグリーンが中間的な明度で表現された（図8b)。

グラデーション画像（図8c）をグレースケール化するとGが一番明るく、R、Bの順に明度が低下することが確認できた（図8d)。したがって、擬似UVカラー画像をそのままグレースケール化するとコントラストが劣る画像になりかねず、何らかの処理が不可欠である。

Photoshopには「チャンネルミキサー」コマンドによってグレースケール画像を補整する方法が準備されている。デジタルカメラのカラー画像を直感的に良好な白黒画像に処理するコマンドであり、極めて有効かつ強力なコマンドであり、このコマンドを知った段階ではこれで十分と考えた。しかし、余りにも直感的で、ユーザーの感性が影響する処理であり、個人の感性の差が結果に大きく影響する。同一画像を異なったときに処理してみたが、気分や体調までもが影響するように思われ、本論の目的に照らせば必ずしも好適な処理コマンドとは言えず、あまり使いたくない手法であるが、以下にその方法を記しておく：

[1]「メニューバー」の「イメージ」のプルダウンメニューから「チャンネルミキサー」を選び、ダイアログボックスを開く。

[2] ダイアログボックス左下部の「モノクロ」をチェックしてonにすると出力先チャンネルが自動的に「グレー」に設定される。

[3] ソースチャンネルのR、G、Bのカラーチャンネル毎に数値を変更してグレーの濃度を調整する。

その結果得られた画像を図9fに示す。本ケースでは後述する方法によるグレースケール画像（図9e)と比べて遜色ない結果が得られた。しかし、上述のように操作者の気分や感性に大きく左右されうる要素を含んでいることに注意すべきである。

福原（2008e)はフリーソフトのホトレタッチJTrimの「RGB交換」コマンドでUV画像のRGBをBRGに一回交換してグレースケール化して良好な結果を得ている。この方法に準ずべく試行錯誤したが、Photoshopで行えば以下のように処理することが良いであろう。

[1]「色相・彩度」コマンドで図6と同様の方法でG画像を得る（図9d)。この場合、色相の数値を－120にする。

[2] 次いでG画像をグレースケールコマンドで白黒画像化し、更に明度とコントラストを調整する。この様にして得られた画像が図9eである。

この方法は、明度とコントラストに操作者の感性が係わるが、総じてかなり安定した結果が得られる。

ここで報告した方法を用いた画像並びにその評価、さらに蜜標の位置づけに関しては次報で扱うことにする。

引用文献

Arikawa, K. (2003) Spectral organization of the eye of butterfly, *Papillio*. *J. Comp. Physiol. A.* **189**, 791-800.

Autrum, H. (1965) The physiological basis of color vision in honeybees. *In*: Ciba Foundation Symposium on Physiology and Experimental Psychology of Colour Vision. (Eds. A.V.S. de Reuck and J. Knight) pp.286-300, Brown and Co., Boston, Kuttle.

Daumer, K. (1956) Reizmetrische Unterzuchung des Farbenschens der Bienen. *Z. vergl. Physiol.* **38**, 413-478.

Daumer, K. (1958) Blumenfarben, wie sie die Bienen sehen. *Z. vergl. Physiol.* **41**, 49-110.

Davies, K.L., Stpiczynska, M. and Gregg, A. (2005) Nectar-secreting floral stomata in *Maxillaria anceps* Ames & C. Schweinf. (Orchidaceae). *Annals Botany* **96**, 217-227.

Dyer, A.G. (1996) Reflection of near-ultraviolet radiation from flowers of australian native plants. *Aust. J. Bot.* **44**, 473-488.

Frisch, K. von (1950) Bees, their vision, chemical senses and language. pp.119, Cornell Univ. Press, Ithaca.

Goldsmith, T.H. and Fernandez H.R. (1968) The senseitivity of housefly photoreceptors in the mid-ultraviolet and the limits of the visible spectrum. *J. Exp. Biol.*, **49**, 669-677.

Gronquist, M., Bezzerides, A., Attygalle, A., Meinwald, J., Eisner, M., and Eisner, T. (2001) Attractive and defensive functions of the ultraviolet pigments of a flower (*Hypericum calycinum*). *PNAS* **98**, 13745-13750.

Kevan, P.G. (1976) Fluorescent nectar. *Science* **194**, 341-342.

Lutz, F.E. (1924) Apparently non-selective characters and combinations of characters including a study of ultraviolet in relation to the flower-visiting habits of insects. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* **29**, 181-283.

Lutz, F.E. (1933) Perception of ultra-violet patterns by *Trigona*, Hymenoptera. *Amer. Mus. Novit.* **641**, 1-26 .

Menzel, R., and Blakers, M. (1976) Color receptors in the bee eye: Morphology and spectral sensitivity. *J. Comp. Physiol. A.* **108**, 11-13.

Menzel, R. (1979) Spectral sensitivity and color vision in invertebrates. *In*: Handbook of Sensory Physiology Ⅶ/6A, Comparative Physiology and Evolution of Vision in inbertebrate: Invertebrate Photoreception (H.A. Autrum ed.) pp.503-580, Springer-Verlag, Berlin.

Penny, J.H. (1983) Nectar guide color contrast: A possible relationship with pollination strategy. *New Phytol.* **95**, 707-721.

Schwinn, K., Venail., J., Shang, Y., Mackay, S., Alm, V., Butelli, E., Oyama, R., Bailey, P., Davies, K., and Martin, C. (2006) A small family of *MYB*-regulatory genes controls floral pigmentation intensiry and patterning in the genus *Antirrhinum*. *The Plant Cell* **18**, 831-851.

Syafaruddin, Kobayashi, K., Yoshioka, Y., Horisaki, A., Niikura, S., and Ohsawa, R. (2006) Estimation of heritabiity of the nectar guide of flowers in *Brassica rapa* L.. *Breeding Science* **56**, 75-79.

Thompson, W.R., Meinwald, J. Aneshansley, D. and Eisner, T. (1972) Flavonols: Pigments responsible for ultraviolet absorption in nectar guide of flower. *Science* **177**, 528-530.

Thorp, R.W., Briggs, D.L., Estes, J.R. and Erickson, E.H. (1975) Nectar fluorescence under ultraviolet irradiation. *Science* **189**, 476-478.

Ushimaru, A., Watanabe, T., and Nakata, K. (2007) Colored floral organs influence pollinator

behavior and pollen transffer in *Commelina communis* (Commelinaceae). *American J. Botany* **94**, 249-258.
内海俊策（2002）花はなぜ美しいか1。昆虫と受粉。千葉大教育学部研究紀要 **50**　Ⅲ：自然科学篇、441-448。
内海俊策（2003）花はなぜ美しいか2。蜜標と蜜腺。千葉大教育学部研究紀要 **51**　Ⅲ：自然科学篇、319-329。
カラーエンジニアリング研究会（1980）HV/C基準色票20色相簡略版、第3版。株式会社カラーアトラス、東京、大阪。
木下充代（2006）アゲハチョウが見ている「色」の世界。比較生理生化学 **23**、212-219。
福原達人（2008a）植物形態学。
http://www.fukuoka-edu.ac.jp/~fukuhara/keitai/index.html
福原達人（2008b）植物形態学、紫外線透過フィルタで撮った花。
http://www.fukuoka-edu.ac.jp/~fukuhara/keitai/hana_uv_touka.html
福原達人（2008c）花の簡易（安易）デジカメ紫外線写真。
http://www.fukuoka-edu.ac.jp/~fukuhara/uvir/hana_uv.html
福原達人（2008d）花の簡易（安易）デジカメ紫外線写真：撮影方法についてのメモ。
http://www.fukuoka-edu.ac.jp/~fukuhara/uvir/hana_uv2.html
福原達人（2008e）花の簡易（安易）デジカメ紫外線写真：画像処理についてのメモ。
http://www.fukuoka-edu.ac.jp/~fukuhara/uvir/hana_uv3.html
福原達人（2008f）デジタルカメラと近紫外線・近赤外線。
http://www.fukuoka-edu.ac.jp/~fukuhara/uvir/digicam_uvir.html
山岡景行（2005）文系学生のための生物学教材の改良。そのⅠ：「赤い花・青い花の秘密」。東洋大学紀要自然科学篇 **49**、61-85。
山岡景行（2006a）文系学生のための生物学教材の改良。そのⅡ：講義版「赤い花・青い花の秘密」。東洋大学紀要自然科学篇 **50**、67-77。
山岡景行（2006b）文系学生のための生物学教材の改良。そのⅢ：最近の改良の効果測定。東洋大学紀要自然科学篇 **50**、79-88。
山岡景行（2007）文系学生のための生物学実験教材（1）：ペチュニアなどの花弁とブドウ外果皮から抽出したアントシアニンの発色に対するpHの影響。東洋大学紀要自然科学篇 **51**、69-86。
山岡景行（2008）文系学生のための生物学実験教材（2）：*Petunia*花弁とナス果皮から抽出したanthocyaninによる金属錯体の形成。東洋大学紀要自然科学篇 **52**、71-85。