

紫外線を使った生物写真の撮影方法

小川 誠¹

[Makoto Ogawa¹: Methods for capturing biological photographs using ultraviolet light]

要旨：紫外線励起蛍光写真や紫外線写真など、紫外線を用いた生物写真の撮影方法について、使用するレンズの種類やカメラの改造の有無などの影響を比較し、解説した。紫外線写真では、従来言われていた改造カメラを用いる方法に加え、無改造のカメラでも撮影が可能であることがわかった。ただし、無改造のカメラでは露出時間を長く設定する必要があり、ブラックライトを多く照射した室内で長時間露光する必要があった。また、暗くした室内でブラックライトを使用し、フィルターを交換することで、紫外線励起蛍光写真と紫外線写真を同じ被写体で撮影できることがわかった。多くの場合、蛍光のパターンと紫外線反射による明暗パターンが一致したが、一致しないケースも見られた。

キーワード：紫外線励起蛍光, Photo Luminescence, Ultraviolet photography, 紫外線写真, ブラックライト

1. はじめに

太陽光（日光）は人の目には無色の光として認識されるが、プリズムを通すと青や赤などの目に見える可視光に分光される。しかし、その可視光の外側には、紫外線や赤外線といった目に見えない不可視光も含まれている（図1）。これらのうち、波長が長い光が赤外線であり、波長が短い光が紫外線である。紫外線は波長が短い分、エネルギー量が多いため、より短い時間の照射で物質に変化をもたらすことができる。

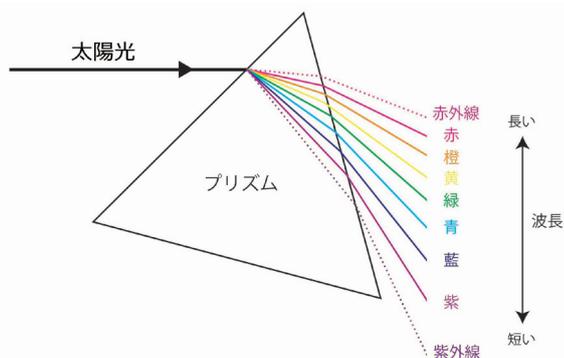


図1. 太陽光のプリズムによる分光

人は紫外線からさまざまな恩恵を受けており、たとえば必須ビタミンであるビタミンDの合成には、日光に含まれる紫外線が不可欠である。しかし、紫外線は波長が短くエネルギー量が多いため、日焼けや皮膚ガンなどの有害な影響を及ぼす場合もある。太陽光に含まれる紫外線の一部はオゾン層によって吸収されるが、波長が290～320nm

の「UVB」と320～400nmの「UVA」は地上に到達する。それより波長が短くエネルギー量の多い「UVC」は通常地上には届かないが、オゾン層の破壊により一部が地表に到達するようになり、皮膚ガンの増加など悪影響が懸念され、社会問題化している。この問題を受け、エアコンで使用されていたフロンガスや博物館で用いられていた燻蒸ガスの使用が規制されるようになった。

紫外線を利用した写真には大きく分けて2種類がある。1つ目は、紫外線の反射や吸収の様子を撮影した紫外線写真（図2C）である。2つ目は、紫外線によって励起された紫外線励起蛍光(Photo Luminescence)を撮影した写真（図2B）である。本稿では、前者を「紫外線写真」、後者を「紫外線励起蛍光写真」と呼ぶ。これらはしばしば混同されるが、紫外線写真は不可視光の紫外線を、紫外線励起蛍光写真は可視光の蛍光を撮影しており、まったく異なる光を記録している。また、これらを同じ被写体で撮影した例はこれまでほとんど報告されていない。そこで著者は、同じ被写体を用い、レンズ交換式デジタル一眼カメラ（以下「デジタルカメラ」）で紫外線写真と紫外線励起蛍光写真を撮影し、比較を試みたので報告する。

なお、図2Cの紫外線写真で白く見えるところが紫外線を反射している部分、黒く見える部分が紫外線を吸収している部分である。

2. 紫外線写真

2024年11月19日受付, 12月21日受理.

¹ 徳島県立博物館, 〒770-8070 徳島市八万町文化の森総合公園. Tokushima Prefectural Museum, Bunka-no-Mori Park, Hachiman-cho, Tokushima 770-8070, Japan.

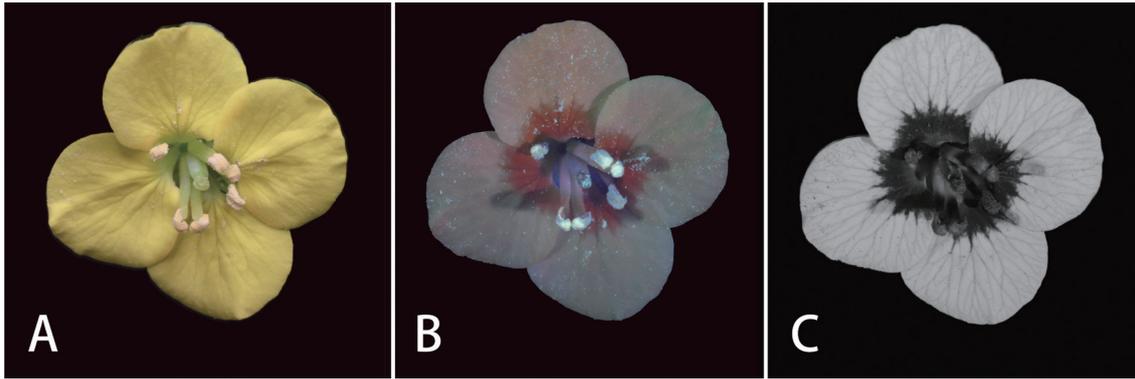


図2. アブラナの花. A: 白色LEDによる可視光写真, B: 紫外線励起蛍光写真, C: 紫外線写真.

紫外線は波長が短い光であり、物質表面の細かい傷を検出できるため、完成品の検査に利用されることがある。また、人の目には見えないが、虫や鳥などには見えるため、カラスでは個体識別に活用されたり、植物では紫外線の反射や吸収による模様（蜜標；内海 2003）が花の蜜の位置を示すことがある（田中 1982, 浅間 2019）。蜜標のパターンは同属の植物でも種ごとに異なる場合や、種内で変異が見られる場合があり、それらを撮影した写真を集めた本も出版されている（鳴橋 2012）。

紫外線写真の撮影には専用のレンズやカメラの改造が必要となる場合があり、一般的には容易ではない。カメラについては、フィルムカメラからデジタルカメラへの移行が進んでおり、それぞれの方法で紫外線撮影の手順が若干異なるため、本稿ではそれぞれの場合について説明する。

なお、デジタルカメラで撮影した紫外線写真は赤みを帯びて見えることがあるが、紫外線の性質上、実際に色を感知しているわけではない。このため、紫外線の反射と吸収による明るさの違いを示す目的で、画像を白黒に変換している。

1) フィルムカメラの場合

一眼レフのフィルムカメラでは、レンズで集めた光をプリズム経由でファインダーに集め、それを覗くことでピントを合わせる仕組みになっている。しかし、紫外線は目に見えないため、この方法でピントを合わせることができない。また、通常のレンズでは、紫外線と可視光で焦点位置が異なるため、可視光でピントを合わせても紫外線では焦点がずれ、画像がぼやけてしまう。

この問題を解決するため、紫外線撮影専用レンズでは、可視光と紫外線での焦点のずれを最小化しており、可視光でピントを合わせるだけで紫外線撮影時にピント補正が不要になるよう設計されている。その代表例が、Nikonの「UV-Nikkor 105mm F4.5」である。このレンズはかつて市販されていたが、現在では製造されておらず、オークショ

ンなどで新品や中古品が出品されることがある。著者が確認した例では、新品の価格が100万円を超えるほど高価であった。

なお、産業用レンズとして「UV-105mm F4.5」が株式会社ニコンのインダストリアルソリューションズ事業のウェブサイトに掲載されている。しかし、一般の人が入手可能かどうかは不明である。

撮影は紫外線撮影専用レンズを用い、太陽光のもとでピントを合わせて、レンズの先端に紫外線透過フィルターを取り付けて行う。鳴橋（2012）には、バラ科の植物について豊富な撮影事例が掲載されている。

2) デジタルカメラの場合

一眼レフやミラーレスのデジタルカメラでは、フィルムの代わりにセンサーが搭載されており、レンズから取り入れた光を受け取る。この光はさまざまな処理を経て、RAW画像やJPEG画像などのファイル形式に変換され、保存される。ほとんどのカメラには本体付属のモニターやパソコン、スマートフォンなどで撮影状況を確認できるライブビュー機能が搭載されており、紫外線のような不可視光でもこの機能を利用してピント合わせが可能である。

(1) カメラの機種選択と改造

改造したレンズ交換式デジタルカメラを使用した紫外線撮影については、碓井（2017）が詳しく解説している。また、コンパクトデジタルカメラ（コンデジ）を使用した紫外線撮影については、福原（n.d.）に詳細が記載されている。

デジタルカメラの登場により、紫外線撮影の方法は大きく変化した。従来のフィルムに代わり、光を受けるセンサーが搭載されているが、紫外線や赤外線がそのままセンサーに入ると、色調が正しく表現されない。そのため、多くのカメラにはセンサーの前にローパスフィルター（図3）が装着されており、紫外線や赤外線をカットする色調整フィルターとして機能している。

紫外線撮影を行うためには、このフィルターを取り除く

改造が必要である。こうした改造は、星空撮影や文化財の赤外線撮影などの用途でも行われており、ローパスフィルターを除去した後、代わりに同じ厚さの透明な板を装着することが一般的である。このような改造はカメラ専門店に依頼することが可能だが、費用は数万円と高額である。

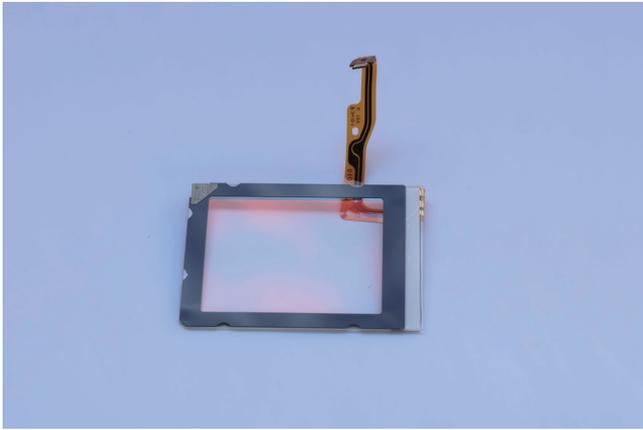


図3. 改造のためとりはずしたローパスフィルター。

今回、3機種のカメラを改造した。いずれも Canon 製で、発売日が古い順に EOS Kiss X3, EOS Kiss X9i, EOS 90D である。新しい機種ほどセンサーの性能が向上しており、暗所撮影性能が優れている。その結果、同じ ISO 感度でもノイズが少なくなり、実際の撮影でも、改造カメラの中で新しい機種である EOS 90D が最もノイズが少なかった。

今回使用したカメラは、いずれも APS-C サイズ（約 22.3mm × 14.9mm）のセンサーを搭載している。フルサイズセンサー（約 36mm × 24mm）搭載のカメラのほうが暗所撮影性能に優れるとされているが、フルサイズカメラは本体価格が高額であるうえ、改造するとメーカー保証が受けられなくなるため、気軽には改造できない。

改造は、天体写真撮影用デジタルカメラの改造サービスを行っているハヤタ・カメララボに依頼した。同店で行ったのは、カメラ内蔵の色調整フィルターをローパスフィルター（図3）ごと取り除き、代わりにほぼ同じ厚さのクリアフィルターをセンサー直前に配置する「クリア改造（HKC 改造）」である。

ただし、改造したカメラでは、紫外線や赤外線をカットするレンズフィルターを装着しても、可視光撮影時の色再現が若干変化する。たとえば、白色が赤みを帯びることがあり、2023年に開催した企画展で白いタマスダレの花を撮影・印刷して展示した際、来館者から「タマスダレはこんなに赤くない」と指摘を受けた。このように、改造カメラでは可視光（カラー）撮影は参考程度にとどめるか、撮影後に現状に合わせた色補正を丁寧に行う必要がある。

(2) レンズの選択

カメラが改造できたら、次はレンズの選択が重要である。前述の Nikon UV-Nikkor 105mm や、同じく産業用の紫外線撮影用レンズである リコー FL-BC2528-VGUV（25mm F2.8）や FL-BC7838-VGUV（78mm F3.8）などは、紫外線撮影専用レンズであるため紫外線透過率が高いが、価格が非常に高価である。

デジタルカメラでは、カメラ本体のモニターやパソコン、スマートフォンなどの画面でライブビューを使用してピント合わせができる。カメラのセンサーで捉えた紫外線はこれで確認できるため、紫外線でもピント合わせが可能となり、専用の紫外線撮影レンズは必ずしも必要ではなくなる。

一般的に、レンズは紫外線を多少なりともカットするため、レンズコーティングが少ない古いレンズや、フィルムを印画紙に焼き付けるための引き伸ばしレンズが適しているとされている。特に Nikon の焼き付け用レンズである EL-NIKKOR シリーズは、海外の紫外線写真フォーラムでも高く評価されており、紫外線撮影用レンズとしても広く使用されている。

著者は初期の頃、EL-NIKKOR をマウントコンバーターを介して使用していたが、最終的には Canon EF-S 60mm Macro F2.8 を多く使用するようになった。その検討過程を以下に示す。

図4 および5には、さまざまなレンズを用いて撮影した紫外線写真を掲載した。カメラは改造した Canon EOS 90D を使用し、暗くした室内で紫外線 LED（ブラックライト）を6灯点灯させて撮影を行った。カメラは三脚に固定し、パソコンと USB ケーブルで接続した上で、EOS Utility 3 を使用してリモート撮影を実施した。

撮影データは以下の通りである。ISO 感度、絞り値、シャッタースピードの順に記載している。

- ① Canon EF-S 60mm Macro F2.8（図4A） 撮影：ISO3200, F22, 2.5 秒
- ② Riko FL-BC7838-VGUV 78mm F3.8（図4B） 撮影：ISO3200, F16, 0.2 秒
- ③ Tamron SP 90mm Macro F2.8（図4C） 撮影：ISO3200, F22, 0.8 秒
- ④ Canon EF 100mm Macro F2.8（図5A） 撮影：ISO 1600, F22, 2 秒
- ⑤ Canon EF-S 35mm Macro（図5B） 撮影：ISO 6400, F22, 13 秒
- ⑥ Canon EF 35-105mm F4.5-5.6（図5C） 撮影：ISO 3200, F22, 8 秒
- ⑦ Nikon EL Nikkor 50mm F2.8（図5D） 撮影：ISO 1600, F11, 1/6 秒

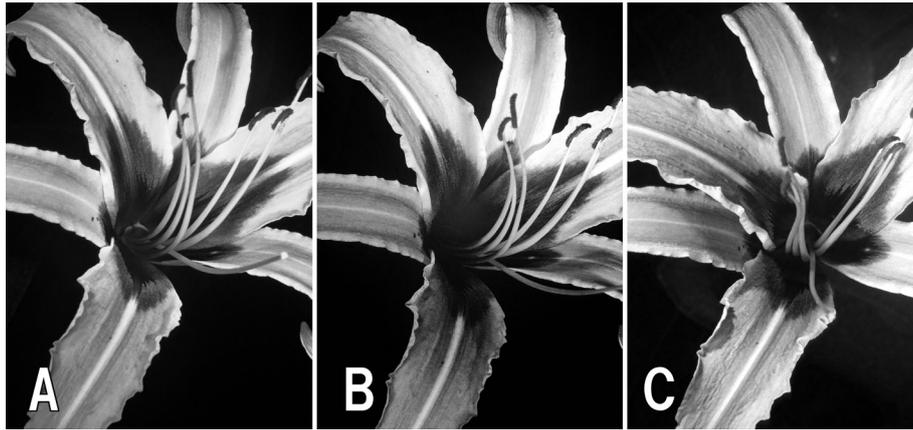


図4. レンズの違いによるノカンゾウの紫外線写真の比較. A: Canon EF-S 60mm Macro F2.8, B: Riko FL-BC7838-VGUV 78mm F3.8, C: Tamron SP 90mm Macro F2.8.

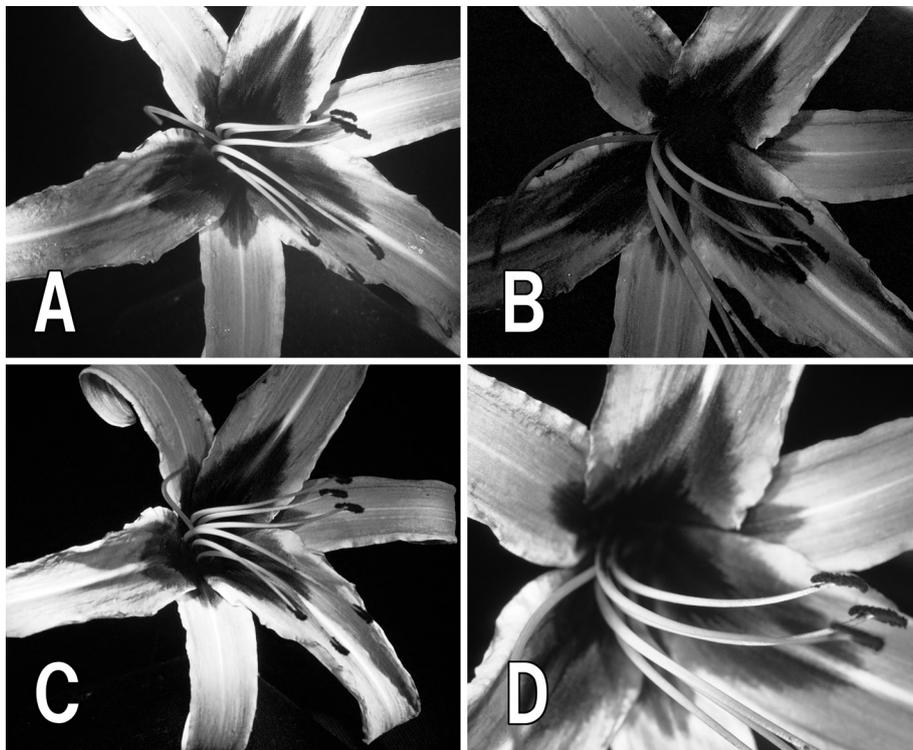


図5. レンズの違いによるノカンゾウの紫外線写真の比較. A: Canon EF 100mm Macro F2.8, B: Canon EF-S 35mm Macro, C: Canon EF 35-105mm F4.5-5.6, D: Nikon EL Nikkor 50mm F2.8.

ISO感度が大きいほど、絞り値が小さいほど、シャッタースピードが長いほど、露光量が増え、画像は明るく撮影できる。しかし、画質を考慮すると、ISO感度は低く（ノイズが減少）、絞り値は大きく（被写界深度が深く）、シャッタースピードは短く（ぶれが少ない）設定することが求められる。ただし、絞りを大きくしすぎると回折現象により解像度が低下する場合があります、⑦ Nikon EL Nikkor 50mmでは最大F16であるものの、F11でとどめている。

画質については以下の通りである。ノカンゾウは花被片の付け根が最も黒く、その外側がやや黒くなっている。これが最もよく写されているのが⑦ EL Nikkor 50mmである。

逆に、⑤ EF-S 35mm Macro と⑥ EF 35-105mm F4.5-5.6では、濃淡の差があまり見られない。

撮影データを比較すると、⑤ EF-S 35mm Macro は長時間露光でISO感度も高い。ISO感度が上がるとノイズが発生しやすく、シャッタースピードが長くなるとぶれやすくなるため、この点でも他のレンズに比べて紫外線写真の撮影には向いていない。

画質や撮影データから最も優れているのは⑦ EL Nikkor 50mmであるものの、マニュアルフォーカスレンズで、絞りもシャッターと連動していない。そのため、ピントピークがわかりやすい開放でピント合わせを行った後、絞り

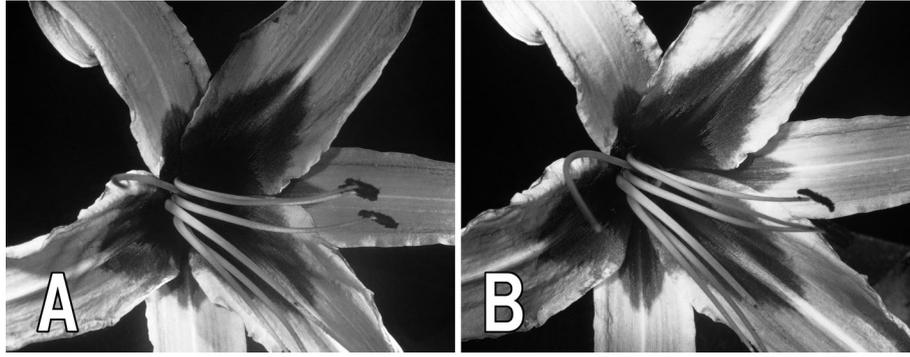


図6. 紫外線透過フィルターによるノカンゾウの紫外線写真の比較. A: Hoya U360, B: ZWB2.

リングを回して絞り込むことになるが、その際にカメラのピント位置がずれる可能性がある。一方、① EF-S 60mm Macro F2.8 はオートフォーカスが使える、絞りがシャッターと連動しているため、ピント合わせが楽である。特に、レンズフィルターを付け替えて撮影するたびにピント合わせが必要となるため、ピント合わせのしやすさは作業効率を向上させるメリットとなる。そのため、① EF-S 60mm Macro F2.8 を多用している。

紫外線写真の撮影に使用するレンズについては、他にもいくつか試したが、大きな差は見られなかった。ただし、コーティングの影響か、露出を上げなければ撮影できないものもあった。そのため、ノイズやぶれが発生しない条件で撮影可能かを確認し、接写が必要か、被写界深度が求められるか、オートフォーカスが必要かといった撮影条件に合ったレンズを選ぶとよい。

(3) 紫外線の波長の選択

紫外線の波長によって、光る対象が異なる。UVA の紫外線 LED では、365nm または 375nm のものと、400nm 付近のものが多く市販されている。このうち、400nm 付近の紫外線 LED は可視光に近く、発光している部分が分かりにくいいため、本研究では 365nm のものを使用している。

(4) 紫外線透過フィルターの選択

次に紫外線透過フィルターについて説明する。正確には紫外線透過・可視光吸収フィルターであり、特定の波長のみを透過するパスバンドフィルターの一種である。このフィルターは紫外線を透過し、可視光をカットするものであり、対象とする紫外線波長に応じて選択する必要がある。

著者は撮影時に 365nm の紫外線 LED を使用したため、それに対応する Hoya 製の U360 フィルターを使用した。このフィルターは 10cm 四方の正方形であり、レンズに取り付けるにはフィルターホルダーが別途必要である。

一方で、より一般的な丸型フィルターとして、ネジ付きでレンズに直接取り付け可能な caravell 製の ZWB2 フィルターも用いた。このフィルターは各種レンズ径に対応した

ものが大手ネット通販で入手可能である。

これら 2 種類のフィルターを用いて撮影した写真を図 6 に示した。撮影はレンズ比較の場合と同様の条件で行い、撮影データは以下の通りである。

Hoya U360 使用時：ISO 3200, F22, 4 秒 (図 6A)

ZWB2 使用時：ISO 1600, F22, 2.5 秒 (図 6B)

ZWB2 フィルターの方が若干明るく撮影できるため、ノイズを抑えることができる。

なお、これらの紫外線透過フィルターには 700 ~ 800nm の赤外線若干透過する特性がある。このため、650nm 以上の波長を遮断する赤外線カットフィルターとして、Kenko 製 DR655 を併用した。特に、太陽光下での撮影では赤外線が存在するため、この赤外線カットフィルターは必要である。しかし、暗所で紫外線 LED を用いた撮影では赤外線の影響はほとんどないため、必須ではないと考えられる。念のため、赤外線カットフィルターを装着して撮影を行った。

(5) 紫外線写真の撮影方法

以上の結果を踏まえ、以下の方法で紫外線写真を撮影した。

改造カメラ (ローパスフィルターを取り除いたもの) に、Canon 製 EF-S 60mm F2.8 マクロレンズを装着し、レンズ先端に DR655 と ZWB2 のフィルターを取り付けた (図 7A)。光源には 365nm の紫外線 LED を 6 個使用した。撮影は暗室環境で行い、パソコン上でリモート撮影を行うソフト (EOS Utility 3) を使用して、画面上でピントを合わせた後、シャッターを切った。シャッタースピードが長いいため、カメラのぶれを防ぐ工夫として空調を切り、無風状態を保った。さらに、三脚を使用してカメラを固定し、安定した撮影を行った。

(6) 撮影した紫外線写真について

モンシロチョウでは、紫外線の反射・吸収特性がオスとメスで異なるため、このチョウは紫外線を用いて雌雄を判別できるという (Obara & Hidaka, 1968 他)。具体的には、

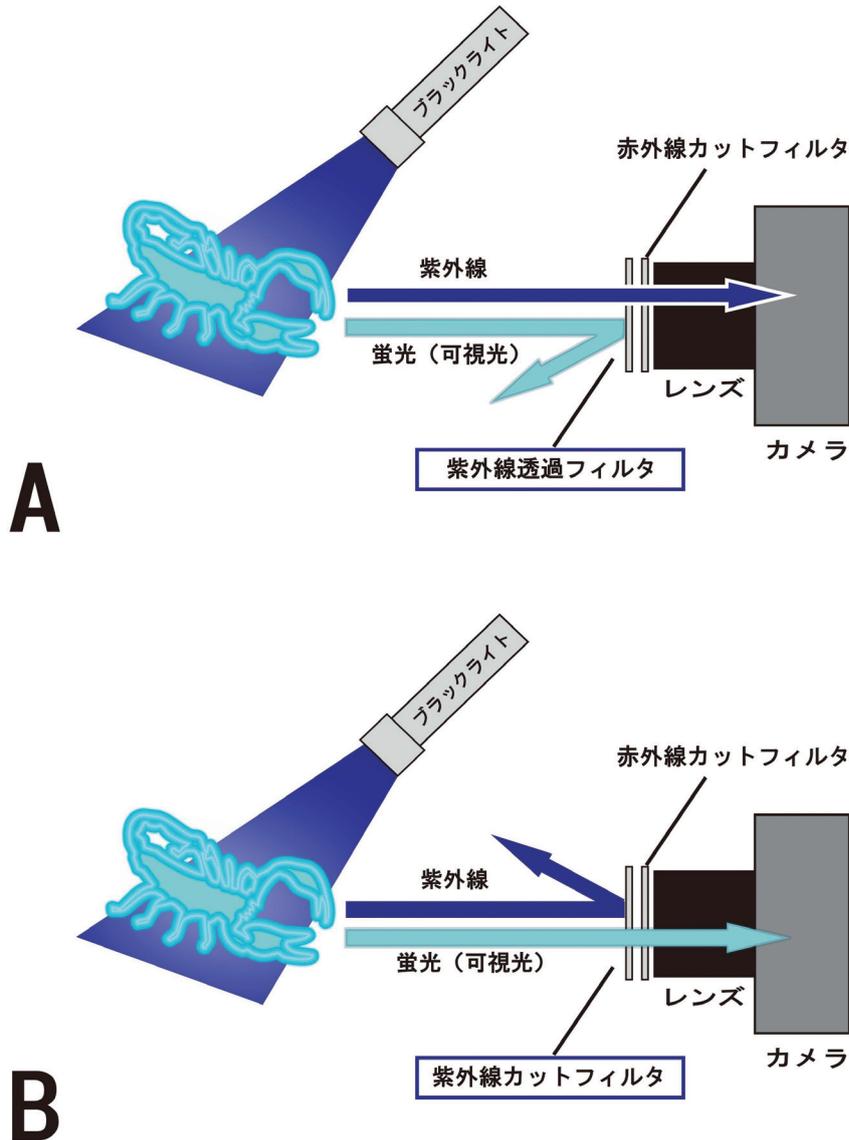


図7. 紫外線を使った生物写真撮影方法. A: 紫外線写真, B: 紫外線励起蛍光写真.

オスは紫外線を吸収するため黒っぽく見え、メスは紫外線を反射するため白く見える。

近いなかまのモンキチョウを紫外線で観察した結果、同様にオスの方が黒く映るが、メスもやや黒くなり、雌雄の差はモンシロチョウほど顕著ではなかった(図8)。

果実が「引っ付き虫」として知られるキク科のセンダングサ属は、園芸植物としてはビデンスの名で親しまれ、黄色や白色の花を咲かせる。その中で、園芸品種名「ハッピーエンパイヤー」として販売されている *Bidens ferulifolia* と、「ウィンターコスモス」と呼ばれる *Bidens laevis* では、舌状花弁の紫外線反射パターンに違いが見られた。

ハッピーエンパイヤー(図9B)は、舌状花弁の先端が紫外線を反射し白く映る。一方で、ウィンターコスモス(図9D)では、舌状花弁全体が紫外線を均等に吸収し、黒みを帯びた外観となる。

鳴橋(2012)がバラ科の植物で示したように、同属内でも種間で紫外線反射パターンに変異があることが確認された。ビデンスにおいても、この紫外線パターンの違いは、昆虫を引き寄せるための適応の違いの一つである可能性が示唆される。

ジギタリスは、オオバコ科ジギタリス属の植物の総称で、その中でも *Digitalis purpurea* が薬用や観賞用として広く栽培されている。この植物の花は筒状で、内側には可視光では白い斑点を伴った点状の模様が見られ、これが「蜜標」と呼ばれている(図10A)。

一方、筒状の花の外側は可視光では単色で、花が下向きであるため外観自体は目立たない。しかし、花の分泌物が紫外線を吸収し、外側に黒い点として現れる(図10B)。さらに、下向きの花の開口部は、やや内側から紫外線では黒く映る。このような可視光と紫外線の模様が組み合わさ

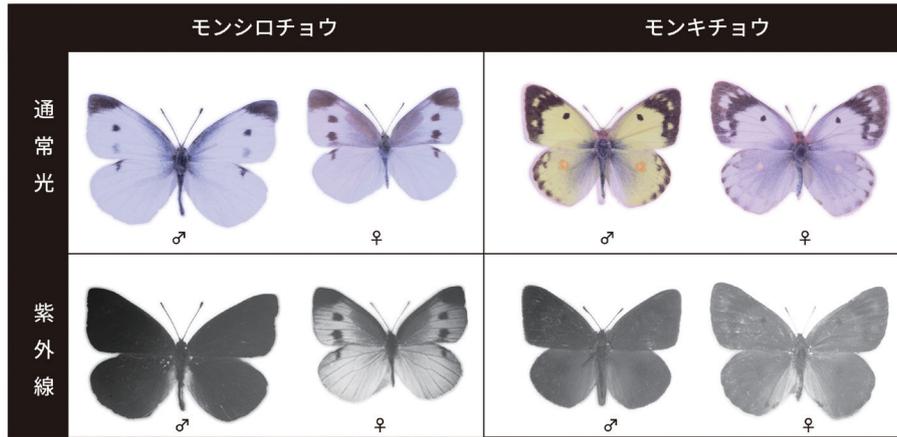


図 8. モンシロチョウとモンキチョウの紫外線反射の違い。



図 9. センダングサ属の紫外線反射の変異。A,B:ピデンス・ハッピーエンパイヤー, C,D: ウィンターコスモス。BとDが紫外線写真。

ることで、ジギタリスは昆虫を引き寄せていると考えられる。

(7) 簡易な紫外線写真撮影方法の開発

これまで紹介した紫外線写真の撮影方法は、フィルムカメラでの撮影をベースにし、デジタルカメラに対応するよう改良されたものである。フィルムカメラが使用されていた当時、紫外線を人工的に発生させる光源は蛍光灯のみであり、その光も弱かったため、撮影は主に太陽光の下で行われていた。実際に蛍光灯を使用してみたが、光が非常に弱く、暗かった。

最近では、LED による強力な紫外線ライトが安価で入手できるようになり、これを使用することで暗所でも紫外

線のみ環境で撮影できるようになった。デジタルカメラはセンサーで光を受けるが、前述の通り、紫外線や赤外線の影響を受けないように、それぞれの光をカットするフィルターがカメラ本体に組み込まれている。これらの性能を直接調べることはできなかったが、現在ではさまざまなレンズに取り付ける紫外線カットフィルターが販売されており、カメラ本体のフィルターのみでは紫外線を 100% カットしていないことがうかがえる。

市販のデジタルカメラで無改造のまま紫外線撮影ができるのは、天体撮影用のカメラに限られ、例えば Canon EOS Ra のような紫外線撮影を前提にしたカメラが存在する。しかし、これらのカメラは販売終了していたり、非常に高

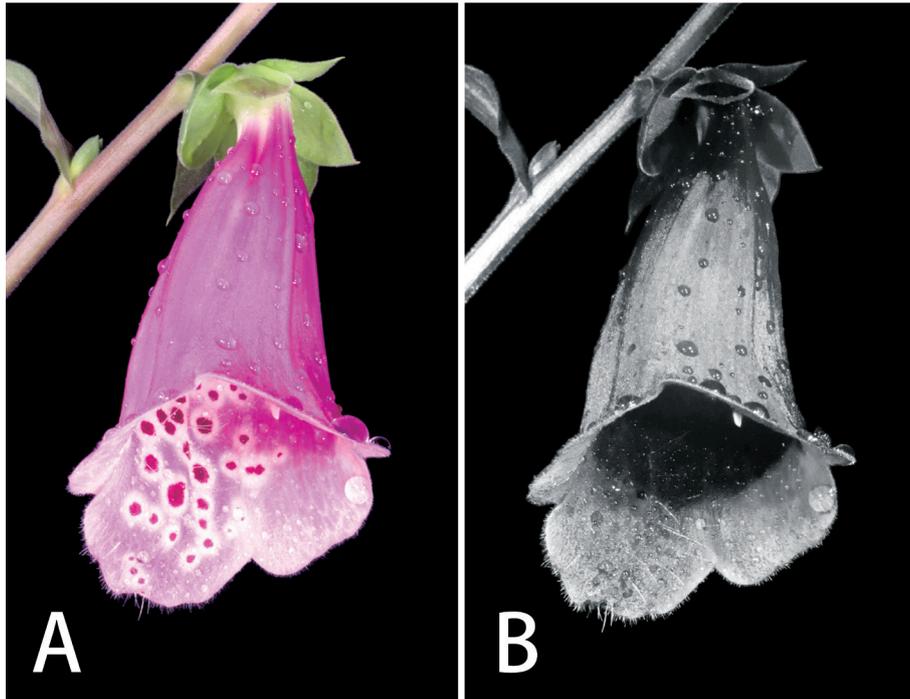


図 10. ジギタリスの可視光写真 (A) と紫外線写真 (B).

価であったりするため、一般的には入手が難しい。鷺野谷 (2006) は、無改造の Nikon D70 とサンパック製紫外線ストロボ、UV-Nikkor 105mm レンズの組み合わせで紫外線撮影を行ったことを報告している。この場合、ストロボとレンズは特殊であるが、カメラが無改造であり、強い紫外線を発生させるストロボがあれば紫外線撮影ができることを示している。

また、松本 (2003, 2005) は、Canon D60 や EOS Kiss Digital などのデジタルカメラを使用し、EF100mm F2.8 マクロ USM レンズの先端に U-360 (Kenko 製) の紫外線透過フィルターを取り付けて、太陽光下で紫外線写真を撮影した。撮影は成功したものの、シャッタースピードが 15 秒程度と長く、多少の風でぶれる可能性があった。

紫外線を強くして、ISO 感度やシャッタースピードを調整し、露出を大きくして本体の紫外線カットフィルターを通過した紫外線を拾い上げることができれば、カメラ本体を改造することなく紫外線写真を撮影することが可能である。デジタルカメラのセンサーは年々進化しており、特に暗所での撮影性能が向上している。具体的には、ISO 感度を少し上げてもノイズが少なく、性能が向上したセンサーが増えている。この点を活用し、ISO 感度を上げ、シャッタースピードを長くして露光量を増やし、できるだけ透過した紫外線を撮影する方法で、無改造のカメラを使った試みを行った。その事例を紹介する。

① Canon EOS R10, レンズ: EF-S 60mm Macro F2.8

Canon EOS R10 は 2022 年 5 月に発売された APS-C サイ

ズのミラーレスカメラで、初心者から中級者向けのモデルである。このカメラは約 2400 万画素 (6000 × 4000)、常用 ISO 感度は ISO100 ~ 32000 の範囲である。この常用 ISO 感度の最大値が大きいほど暗い場所でのノイズが乗りにくく、紫外線写真撮影のような用途に向いている。EF-S 60mm Macro F2.8 のレンズを、コントロールリングマウントアダプター EF-EOS R を介して取り付けた。紫外線透過フィルターには ZWB2 を使用した。

撮影は室内で紫外線 LED6 灯を使用し、改造カメラ (EOS 90D) と比較して行った (図 11)。レンズやフィルターは同一のものを使用している。撮影テストの結果については、小川 (2024) によるアブラナでの撮影データも参考にしていきたい。

撮影データは次のとおり。

図 11A: EOS R10 (無改造), 可視光 LED, ISO 800, F8, 1/30 秒

図 11B: EOS R10 (無改造), 紫外線 LED, ISO 6400, F8, 30 秒

図 11C: EOS 90D (改造), 可視光 LED, ISO 1600, F16, 1/13 秒

図 11D: EOS 90D (改造), 紫外線 LED, ISO 6400, F16, 1/6 秒

無改造カメラでの紫外線写真 (図 11B) は、改造カメラ (図 11D) と濃淡のパターンがほぼ同じである。ただし、シャッタースピードがより長く設定されており、それを抑えようとすると絞りを小さくしなければならない。図 11B の



図 11. 室内におけるカメラの改造の有無によるノカンゾウの紫外線写真の比較. A・B: 無改造カメラ (EOS R10), C・D: 改造カメラ (EOS 90D).

シャッタースピードが 30 秒であることからわかるように、無風の室内での撮影でも、これ以上シャッタースピードを長くすると、ぶれが発生する可能性が高くなる。

屋外での撮影も比較してみた (図 12)。撮影日 (2024 年 10 月 4 日) は曇りで紫外線量が少なく、改造カメラ・無改造カメラともにコントラストが落ちている。しかし、花被片の付け根に近い部分がやや黒くなっているのがわかる (図 12B, D)。

撮影データは次のとおり。

図 12A: EOS R10 (無改造), 太陽光, ISO 800, F2.8, 1/3200 秒

図 12B: EOS R10 (無改造), 太陽光 (紫外線), ISO 12800, F2.8, 1/4 秒

図 12C: EOS 90D (改造), 太陽光, ISO 800, F8, 1/800 秒

図 12D: EOS 90D (改造), 太陽光 (紫外線), ISO 6400, F8, 1/30 秒

注目すべきは図 12B で、ISO 感度を 12800 まで上げ、絞りは開放 (レンズの限界値) の F2.8 にしたにもかかわらず、シャッタースピードは 1/4 秒であった。この速度では、風が少しでも吹くとぶれてしまう。図 12D の改造カメラでも屋内で撮影したものと比べるとコントラストが高くない。改造・無改造にかかわらず、屋外での紫外線撮影は避けた方がよいと思われる。

② Sony ZV-E10, レンズ: FE 50mm F2.8 Macro

Sony ZV-E10 は 2021 年 7 月に発売された APS-C のミラーレスカメラである。Sony のレンズ交換式デジタルカメラの中では初心者向けのエントリーモデルで、価格も最も安い。約 2400 万 (6000 × 4000) 画素、常用 ISO 感度は ISO100 ~ 32000 のカメラである。それを用いて無改造で紫外線写真を撮影してみた (図 13)。

撮影データは次のとおり:

図 13A: ZV-E10 (無改造), 可視光 LED, ISO 800, F13, 1/40 秒

図 13B: ZV-E10 (無改造), 紫外線 LED, ISO 6400, F8, 2.5 秒

図 13C: EOS 90D (改造), 可視光 LED, ISO 800, F29, 1/8 秒

図 13D: EOS 90D (改造), 紫外線 LED, ISO 3200, F29, 1/8 秒

一見すると無改造 (図 13B) と改造 (図 13D) の写真は違いがわかりにくいですが、無改造ではノイズが目立っている。

③ Sony α 7RII, レンズ: EL-Nikkor 50mm F2.8

Sony α 7RII は 2015 年 6 月に発売されたフルサイズのミラーレスカメラである。約 4240 万 (7952 × 5304) の高画素、常用 ISO 感度は ISO100-25600 のカメラである。センサーサイズは前者に比べて大きいものの、生産終了した古い機種であるため、常用 ISO 感度も他の 2 機種に比べ

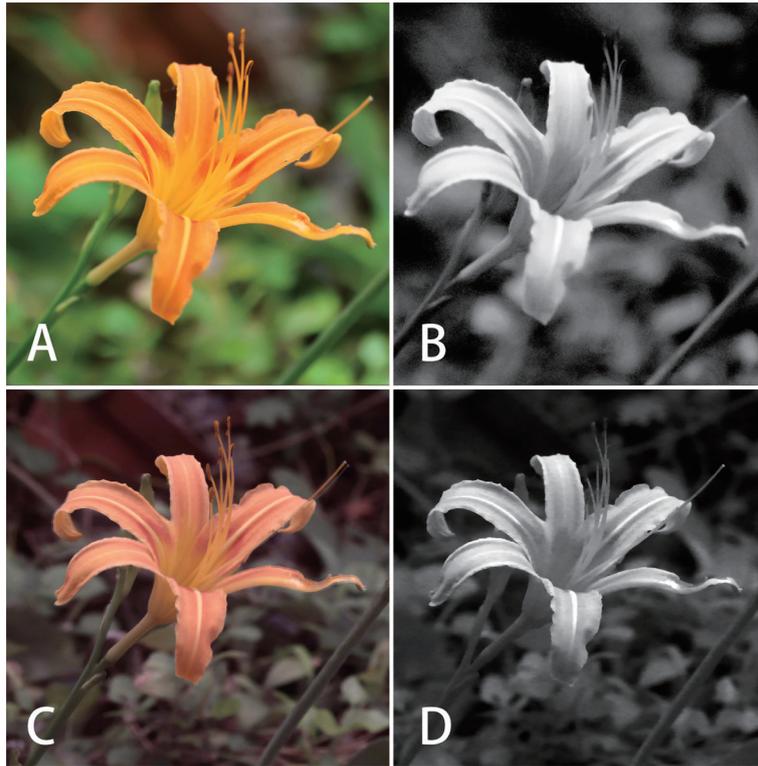


図 12. 屋外（太陽光下）におけるカメラの改造の有無によるノカンゾウの紫外線写真の比較. A・B：無改造カメラ（EOS R10），C・D：改造カメラ（EOS 90D）.



図 13. カメラの改造の有無によるビデンス・ハッピーエンパイヤーの紫外線写真の比較. A・B：無改造カメラ（ZV-E10），C・D：改造カメラ（EOS 90D），B・D：紫外線写真.

て小さい. そのため, 暗所撮影性能では劣ると思われる.

本機はローパスフィルターが無い機種で, 他の機種ではローパスフィルターに付属する紫外線や赤外線のカットするフィルターが持っている機能がどのように処理されているかは不明である. ただ, 鷺野谷 (2012) は Nikon D70 で

紫外線撮影した際に「ローパスフィルターを使用していないため, 不可視光撮影に向いている」としているのですが, ローパスフィルターが無い機種は紫外線撮影に向いているのかもしれない.

今回のテストでは, レンズテストで良好だった EL-



図 14. カメラの改造の有無によるヒメツルキジムシロの紫外線写真の比較. A・B：無改造カメラ (α 7RII), C・D：改造カメラ (EOS 90D), B・D：紫外線写真.

Nikkor の 50mm F2.8 を用いてみた. その結果を図 14 に示す. なお, EOS 90D の方は EF100mm Macro F2.8 のレンズを用いた.

撮影データは次のとおり.

図 14A： α 7RII (無改造), 可視光 LED, ISO 100, F16, 1 秒

図 14B： α 7RII (無改造), 紫外線 LED, ISO 1600, F16, 30 秒

図 14C：EOS 90D (改造), 可視光 LED, ISO 100, F32, 1/4 秒

図 14D：EOS 90D (改造), 紫外線 LED, ISO 1600, F32, 5 秒

フルサイズのセンサーとレンズのためか, 紫外線写真のノイズは ZV-E10 より小さかった. シャッタースピードが 30 秒と長いため, 実用的には絞りを開けるか, ISO 感度を上げる必要がある.

④ Canon EOS R6, レンズ：EF-S 60mm Macro F2.8

Canon EOS R6 は, 2020 年 8 月に発売されたフルサイズのミラーレスカメラである. Canon 製品の中ではハイアマチュアモデルに位置付けられており, 約 2140 万画素 (5472 × 3648) の撮像素子を搭載し, 常用 ISO 感度は ISO 100 ~ 102400 と広範囲である. この高い常用 ISO 感度により, 暗所での撮影に適した機種とされている.

テスト結果を図 15 に示す. 比較用の改造カメラによる撮影結果は図 13C・D と同一のため, 省略した.

撮影データは以下のとおり.

図 15A：EOS R6 (無改造), 可視光 LED, ISO 800, F22, 1/40 秒

図 15B：EOS R6 (無改造), 紫外線 LED, ISO 3200, F8, 20 秒

紫外線撮影においては, ISO を 6400 まで上げててもノイズはほとんど目立たなかった. そのため, シャッタースピードが長くなるものの, 絞りを絞ることで被写界深度を確保することが可能であった. このように, 暗所撮影に適した機種を使用することで, ノイズの発生を抑えることができ, 紫外線撮影に適しているといえる.

⑤ Canon EOS Kiss Digital, レンズ：EF-S 60mm Macro F2.8

EOS Kiss Digital は, 2003 年 9 月に発売された APS-C サイズのミラーレスカメラである. Canon のカメラの中では初心者向けモデルに位置付けられている. 撮像素子は約 630 万画素 (3072 × 2048) で, ISO 感度は ISO 100 ~ 1600 の範囲をカバーしている.

ビデンス・ハッピーエンパイヤーの紫外線写真の撮影データは以下の通り.

図 16A：EOS Kiss Digital (無改造), 可視光 LED, ISO 800, F5.6, 1/200 秒

図 16B：EOS Kiss Digital (無改造), 紫外線 LED, ISO 1600, F5.6, 1/3 秒

松本 (2005) は, EOS Kiss Digital を使用して紫外線写



図 15. 無改造カメラ (EOS R6) によるビデンス・ハッピーエンパイヤーの紫外線写真. A: 可視光, B: 紫外線写真.



図 16. 無改造カメラ (EOS Kiss Digital) によるビデンス・ハッピーエンパイヤーの紫外線写真. A: 可視光, B: 紫外線写真.

真を撮影したことを報告している。しかし、この機種は発売から年月が経過しており、ライブビューに対応していない。そのため、撮影中の様子をカメラやパソコンのモニターで確認することはできない。この制約から、紫外線写真撮影ではカメラのオートフォーカス機能を使用するか、手動でピントを勘に頼って調整する必要がある。

今回の撮影ではオートフォーカスを使用した。結果としてピントが甘くなった。また、ISO 感度が最大 1600 と低い。そのため、撮影画像にはノイズが目立った。近年ではセンサー技術の進化によりノイズが少ない機種が増えており、この機種を紫外線写真撮影に使用するメリットはほとんどないと考えられる。

⑥ Sony α 6700, レンズ: FE 50mm F2.8 Macro

Sony α 6700 は、2023 年 7 月に発売された APS-C サイズのミラーレスカメラである。Sony のカメララインアップでは、ハイアマチュアモデルに位置付けられている。撮像素子は約 2700 万画素 (6192 \times 4128) で、常用 ISO 感度は ISO 100 \sim 32000 である。

ビデンス・ハッピーエンパイヤーの紫外線写真の撮影データは以下の通り。

図 17A: Sony α 6700 (無改造), 可視光 LED, ISO 800, F16, 1/40 秒

図 17B: Sony α 6700 (無改造), 紫外線 LED, ISO 12800, F6.3, 25 秒

露出条件以外は他の機種と同じ設定で撮影を試みた。しかし、全体的に画像が暗く、ISO を 12800 まで上げててもパソコン画面上で暗い状態が続いた。そのため、正確なピント合わせが難しく、何度も調整を行う必要があった。ただし、ノイズの発生は抑えられており、画質的な問題はほとんど見られなかった。

⑦ Sony ZV-E1, レンズ: FE 50mm F2.8 Macro

Sony ZV-E1 は、2023 年 4 月に発売されたフルサイズのミラーレスカメラである。約 1200 万画素 (4240 \times 2832) を備え、常用 ISO 感度は ISO 80 \sim 102400 である。日常の様子を動画で記録する Vlog 用カメラとして設計され、画素数を抑えることで暗所撮影に適した機種とされている。



図 17. 無改造カメラ (α 6700) によるビデンス・ハッピーエンパイヤーの紫外線写真. A: 可視光, B: 紫外線写真.

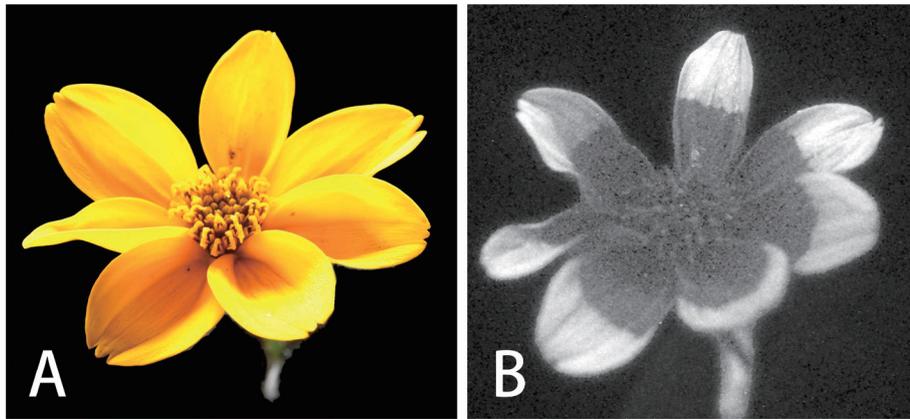


図 18. 無改造カメラ (ZV-E1) によるビデンス・ハッピーエンパイヤーの紫外線写真. A: 可視光, B: 紫外線写真.

碓井 (2017) は, Sony α 7S について, 本体に搭載された紫外線や赤外線をカットするフィルターの性能を示している. その報告によると, Sony α 7S では 360nm 付近の紫外線が 100% カットされており, 無改造での紫外線写真撮影は難しいと思われる. ZV-E1 は α 7S の後継機である α 7SIII の機能を一部簡略化したモデルで, センサーは α 7SIII と同一とされるため, α 7S に近い特性を持つと考えられる. この点を踏まえ, ZV-E1 を用いてテストを実施した.

ビデンス・ハッピーエンパイヤーの紫外線写真の撮影データは以下の通り.

図 18A: ZV-E1 (無改造), 可視光 LED, ISO 2000, F16, 1/50 秒

図 18B: ZV-E1 (無改造), 紫外線 LED, ISO 32000, F8, 4 秒

露出条件以外は他の機種と同じ設定で撮影を試みた. しかし, ISO を 32000 まで上げてても画像は暗く, ピント合わせが困難であった. 撮影された紫外線写真では, 舌状花の先端が白く, 付け根が黒い様子は確認できたものの, 輪郭

が不明瞭でノイズが多く, 画質は劣悪だった. この結果から, ZV-E1 は α 7S ほど紫外線を完全にカットしているわけではないものの, 本体フィルターが紫外線を強くカットしているため, 露光不足が生じたと考えられる. 暗所撮影に優れた機種であっても, センサーに紫外線が届かなければ紫外線写真には適さないといえる.

さらに, スマートフォンの Apple 社 iPhone 13 Pro や, コンパクトデジタルカメラの OM SYSTEM 社 Tough TG-7 を用いて紫外線写真の撮影も試みた. しかし, ISO 感度を最大に設定しても画像が暗すぎてピント合わせができず, 撮影自体が不可能だった. これらの機器も何らかの仕組みで紫外線をほとんどカットしていると推察される.

これらの結果から, 屋外での紫外線写真撮影は困難であるが, 室内では以下のような工夫をすることで, 無改造のカメラでも撮影が可能となる.

- ISO 感度を上げる
- シャッタースピードを長くする

- ・絞りを小さくする
- ・紫外線 LED の照射量を増やす

ただし、カメラ本体に搭載されている紫外線や赤外線をカットするフィルターの性能により、機種によっては無改造での紫外線写真撮影が困難な場合もある。

以上、無改造のデジタルカメラによる紫外線写真撮影について述べてきた。一方、無改造のカメラを用いた赤外線写真撮影に関しては、植地（2006）で紹介されている。

3. 紫外線励起蛍光写真

紫外線励起蛍光は、フォトルミネッセンスと呼ばれることもある。紫外線などの強いエネルギーを持つ光が物質に照射された際、励起された電子が基底状態に戻る際に光（紫外線励起蛍光）を発する現象である（須川ら 2004）。

この場合、蛍光を発する物質を蛍光物質と呼び、ビタミン B2 やクロロフィルなど、さまざまな物質がこれに該当する。紫外線励起蛍光の実験は、暗所で紫外線を照射することで簡単に実施できるが、その原因である蛍光物質については、詳細が知られていないケースも少なくない。

紫外線励起蛍光は、日中の太陽光の下では蛍光を発しているが、ほとんど目立たない。紫外線による蛍光は、物質の違いを反映している現象であり、多くの場合、生物にとって直接的な意味を持つのかは不明である。ただし、花粉の多くが蛍光を発している点については、紫外線による DNA 損傷を防ぐ効果と、昆虫を誘引する効果があるとされる（森・平井 2019）。

紫外線励起蛍光は、蛍石などの鉱物において古くから知られており、それらを集めた書籍も出版されている（山川 2008, 2009）。しかし、生き物などそれ以外の蛍光を発するものについては、書籍が少なく、情報が集まりにくい状況にある。

著者は、バナナの果実が熟して黒くなる過程で、シュガースポットの周囲が紫外線で光るという記事を目にし、興味を抱いた（Moser et al. 2009, 小川 2010）。その後、アルコールに浸けた植物の葉が紫外線を照射すると赤く光る現象に気づき、さまざまな物に紫外線を当てる実験を行った結果、意外な物が光ることを発見した（小川 2016, 2017, 2019, 2022）。

これらの発見を基に、紫外線を用いて光る物や光らない物を見つける楽しさを体験することで、自然への興味を喚起するツールとしての活用を試みた。その結果、ワークショップや展示会、ジュニア学芸員講座などの活動を通じて、子どもたちから非常に大きな関心を引き出せることが分か

った（小川 2018）。また、2023 年夏の企画展「かがやく生きもの 一光をまとった生きものの不思議な世界」では、これらの成果を展示し、大変好評を博した。

紫外線励起蛍光写真の撮影は非常に簡単である。暗所で紫外線 LED を照射し、カメラで撮影するだけで実現可能だ。ただし、以下の点に注意する必要がある。

弱い光の撮影：紫外線励起蛍光は光量が少ないため、被写界深度を大きくしてピントを奥まで合わせるには、レンズの絞りを閉じる必要がある。

撮影の安定性：手ブレを防ぐために三脚を使用し、リモート撮影ができる環境を整えることが望ましい。

紫外線 LED の選択：365nm または 375nm の紫外線 LED を使用するのが適切である。

400nm 前後の紫外線 LED は安価に入手できるが、可視光に近いため蛍光発光が明瞭に観察しづらくなるため、避けるべきである。

小川（2018）の報告では、ジュニア学芸員として活動する小中学生たちが、さまざまな種類の紫外線励起蛍光写真を撮影した。撮影手順は簡単であり、ブラックライトや三脚を用意すれば、スマートフォンでも特別な設定をすることなく紫外線励起蛍光写真を撮影できる。

図 19 には、iPhone 13 Pro で撮影したイワガキの紫外線励起蛍光写真を示す。

小川（2018）は、ショウジョウタカベという貝が鮮やかな紫外線励起蛍光を発することを報告している。また、小川（2021・2023）は、藍染めに用いるタデアイについて、熱水法やぬるま湯法によるインジゴの抽出過程で紫外線励起蛍光が観察されることを紹介している。

以下に、紫外線励起蛍光について気付いた事例を示す。

ホタルブクロ（図 20）はキキョウ科の多年草で、初夏に大きな釣り鐘状の花を下向きに咲かせる植物である。その名前は、子供が蛍を花の中に入れて遊んだことに由来する（図 20A）。

このホタルブクロに紫外線を照射すると、花の付け根部分（図 20B、矢印）が光り、まるでホタルが花の中で輝いているかのような印象を与える。また、花の断面を観察すると、特にめしべ（花柱）と子房が強い紫外線励起蛍光を発していることが確認できた。

海藻サンゴモの仲間（図 21A）は、徳島県付近の磯でよく見かける紅藻綱に属する。この海藻は、細胞の内外に炭酸カルシウムを沈着させて石灰化し、硬い構造を持つのが特徴である。また、その見た目はピンク色をしている。

これに紫外線を照射すると、強い金色の紫外線励起蛍光を発することが観察された（図 21B）。金色の紫外線励起

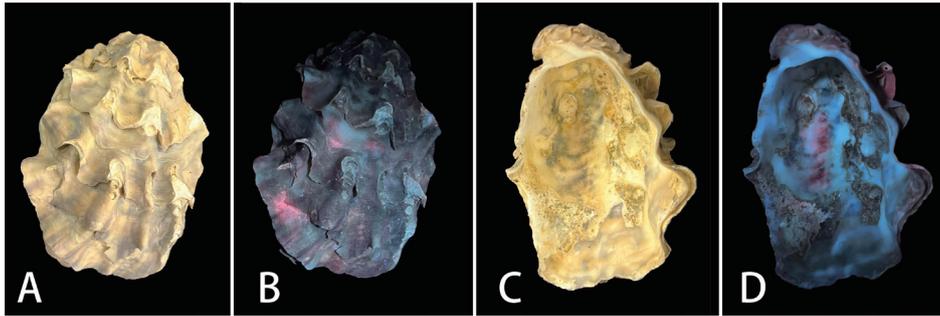


図 19. iPhone 13 pro で撮影したイワガキ.

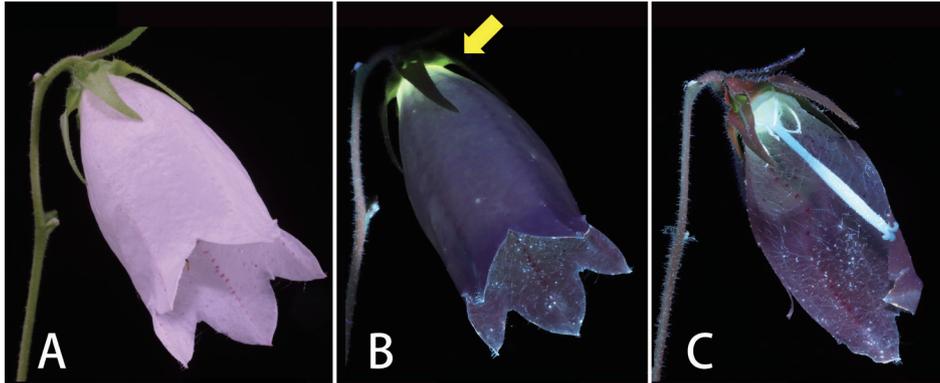


図 20. ホタルブクロ. A: 可視光, B: 紫外線励起蛍光, C: その断面.

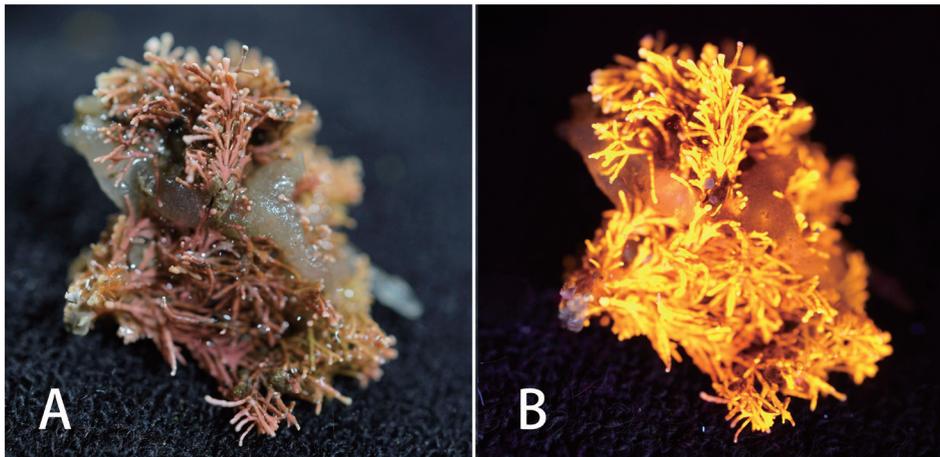


図 21. 海藻サンゴモの仲間. A: 可視光, B: 紫外線励起蛍光.

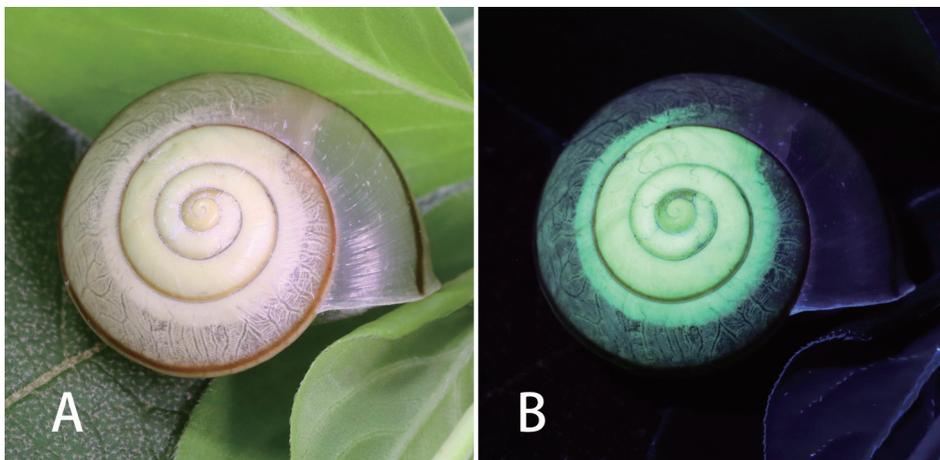


図 22. コハクオナジマイマイ. A: 可視光, B: 紫外線励起蛍光.

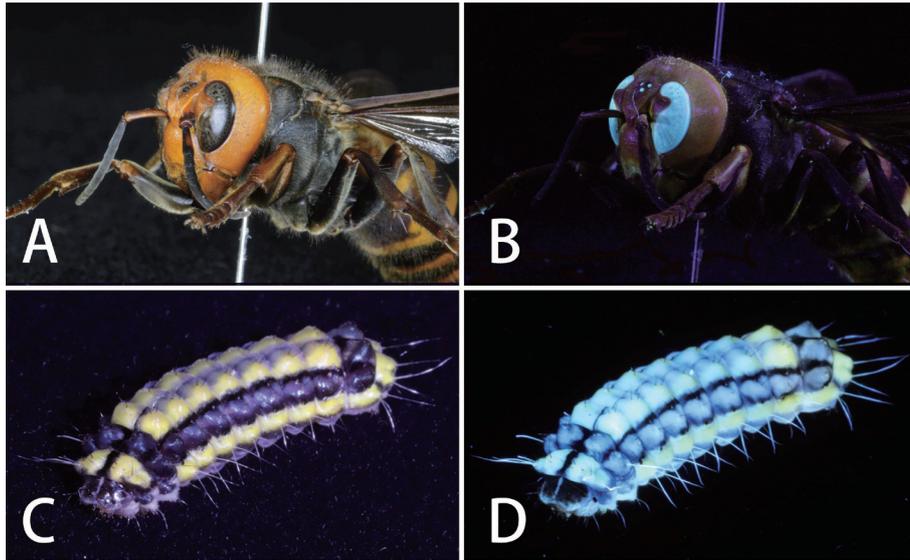


図 23. オオスズメバチ (A,B) とホタルガの幼虫 (C,D). A, C: 可視光, B, D: 紫外線励起蛍光.

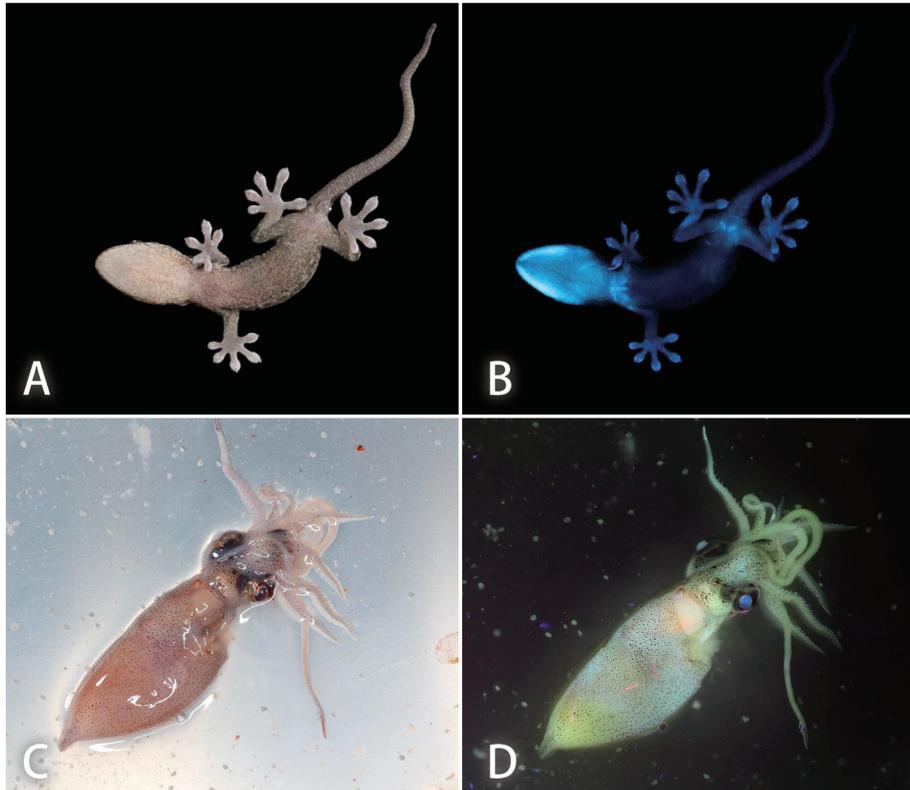


図 24. ニホンヤモリ (A,B) と冷凍したホタルイカ (C,D). A, C: 可視光, B, D: 紫外線励起蛍光.

蛍光は、著者が調べた限りでは珍しい現象である。ほかに金色の蛍光が確認された例としては、タケニグサの茎の汁が挙げられる。このように、紫外線励起蛍光による光の色は物質の特性を反映しており、非常に興味深い。

コハクオナジマイマイ (図 22A) は、日本固有のカタツムリであり、もともとは中国地方西部や九州、四国南西部、房総半島の限られた地域に生息していた (Seki et al.

1997)。しかし、自動車 (小橋 2017) やその他の人為的要因により分布を広げ、現在では近畿や関東でも繁殖している。徳島県でも 2019 年に海陽町で初めて確認された (小川ら 2021)。

筆者が 2013 年に外来生物の企画展用にコハクオナジマイマイを茨城県で採集した際、畑で大量発生しており、コマツナ、ネギ、キュウリなどの野菜に被害を与えているの

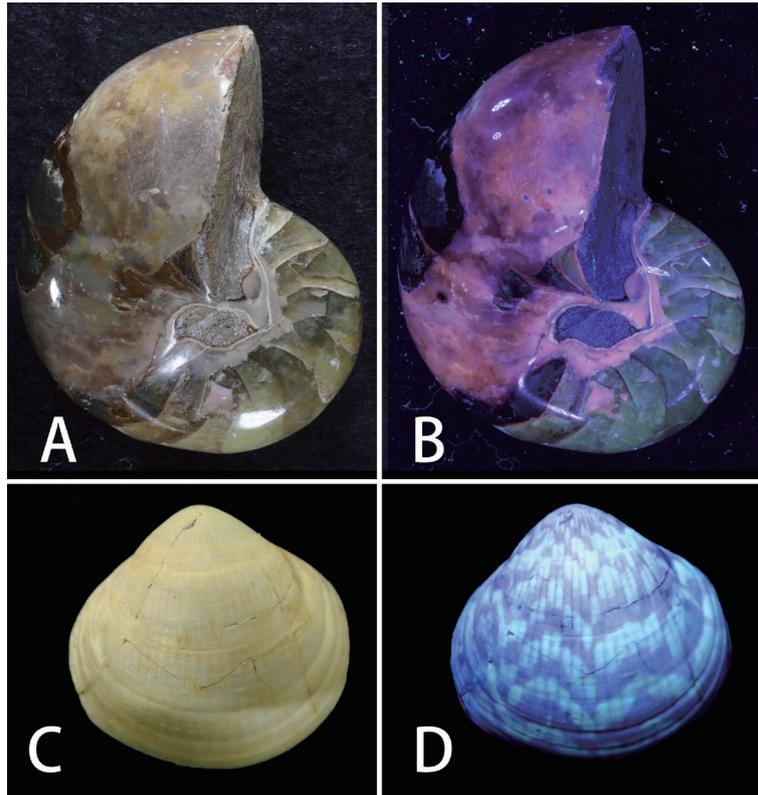


図 25. オウムガイの化石 (A,B) と冷凍したトドロキガイ (C,D). A, C : 可視光, B, D: 紫外線励起蛍光.



図 26. キハダの煮汁を使って作成した光る葉書. A,C : 可視光, B,D : 紫外線.

を目撃した。このことから、海陽町での侵入初期段階での発見は、農業被害を未然に防ぐための重要な機会であると言える。繁殖を抑えるためには、早急に駆除し、拡散を防ぐことが求められる。

さらに、コハクオナジマイマイが紫外線を照射されると、黄緑色の紫外線励起蛍光を発することがわかった (図 22B)。これにより、夜間に紫外線を使用して効率的にコハクオナジマイマイを探し出す方法が有効であることが判明した。この手法は、農業被害の軽減や侵入個体の早期発見に役立つ可能性がある。

オオスズメバチの標本 (図 23A) に紫外線を照射すると、複眼と単眼が青白く光り、紫外線励起蛍光を発することが確認された (図 23B)。この現象は、他の昆虫種の複眼や

単眼でも同様に観察される。

一方、ホタルガはその成虫がホタルに似た外見を持つことから名付けられたが、実際にはホタルとは全く関係のないガの仲間である。その幼虫 (図 23C) に紫外線を照射すると、非常に強い紫外線励起蛍光を発することがわかった (図 23D)。

これらの観察結果は、昆虫の体の特定の部位が紫外線に反応して蛍光を発する性質を示しており、種ごとの違いを比較する上で興味深い。

爬虫類のニホンヤモリ (図 24A) は、その名前に「日本」が付いているものの、実際には外来種と考えられている。このヤモリをガラス瓶に入れると、壁面にしっかりと張り付くが、紫外線を照射すると青白く光る (図 24B)。よく

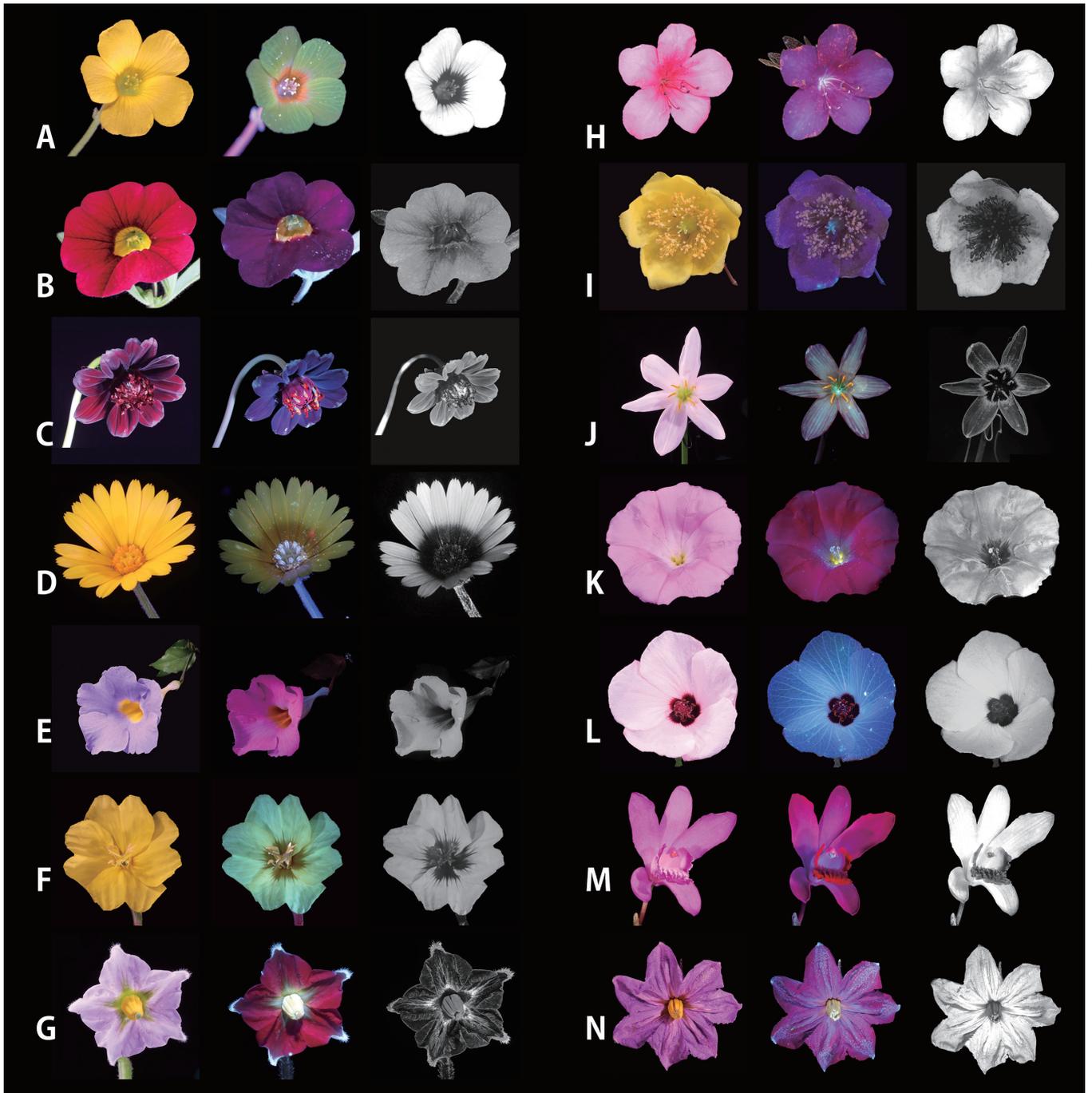


図 27. 可視光（通常光，左）と紫外線励起蛍光写真（中央），紫外線写真（右）。A：オッタチカタバミ，B：カリブラコア，C：チョコレートコスモス，D：ヒメキンセンカ，E：ツンベルギア，F：コマツヨイグサ，G：ジャガイモ，H：サツキ，I：キンシバイ，J：ゼフィランサス，K：ヒルガオ，L：ヤノネボンテンカ，M：シラン，N：ナス。

観察すると、特に骨や指の吸盤部分が光っていることがわかる。脊椎動物の骨は他の動物でもよく光るが、ニホンヤモリの場合、皮膚が光を透過させやすいため、骨が光っている様子が透けて見えるのだろう。

軟体動物のホタルイカは生物発光をすることで広く知られており、春の富山湾ではホタルイカの大群が発光する様子が風物詩となっている。冷凍されたホタルイカの個体(図 24C) に紫外線を照射すると、黄緑色や赤い色の紫外線励

起蛍光を発することがわかる(図 24D)。

生物の遺体が化石になる過程で、貝殻などに含まれる炭酸カルシウムがカルサイト化する。その際に蛍光物質を取り込み、紫外線励起蛍光を発することがある。オーム貝の化石(図 25A) に紫外線を照射すると、緑、紫、青などの複雑な紫外線励起蛍光が発生することがわかる(図 25B)。

図 25C に示したトドロキガイは、約 300 万年前に高知

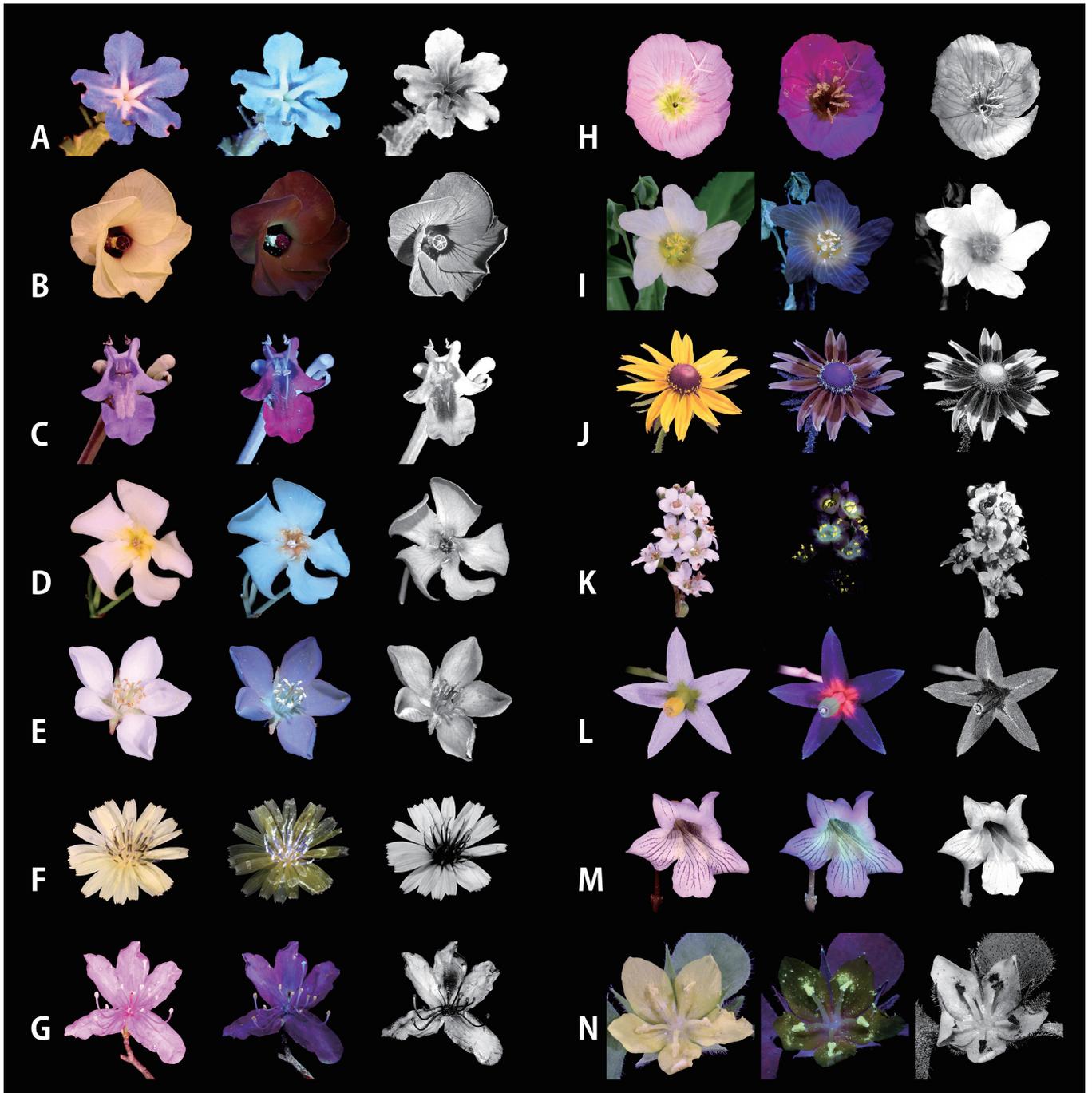


図 28. 可視光（通常光，左）と紫外線励起蛍光写真（中央），紫外線写真（右）。A：ホタルカズラ，B：ハマボウ，C：ハマゴウ，D：テイカカズラ，E：シャリンバイ，F：イワニガナ，G：コバノミツバツツジ，H：モモイロヒルザキツキミソウ，I：キングジカ，J：アラゲハンゴンソウ，K：ヌマトラノオ，L：テリミノイヌホオズキ，M：キリ，N：コナスビ。

県安芸郡安田町で産出された化石である。これに紫外線を照射すると、貝殻の表面に可視光では見ることのできない模様が現れる（図 25D）。化石の貝殻では色や模様が失われていることが多いが、紫外線を使って模様を復元することで、より詳細な分析が可能になる。実際、国立科学博物館では分類が困難なイモガイ類の化石に紫外線を照射して模様を復元し、分類に役立てている（加瀬 1997）。

黄色に布を染める染料として使用されるキハダの皮の煮

汁は、紫外線で強い黄色の紫外線励起蛍光を発する。この特性を活用して、葉書にハート型や文字、モミジの葉などを配置し、霧吹きでキハダの皮の煮汁を噴霧した。乾燥後、さまざまな紙や押し花を置き、ヒートシールの和紙をのせてラミネーターで熱を加え、和紙を密着させることで、紫外線で光る葉書を作成した（図 26）。

2023 年と 2024 年の夏には、「光るはがきを作ろう」という普及活動を計 2 回開催したが、いずれも好評を得るこ

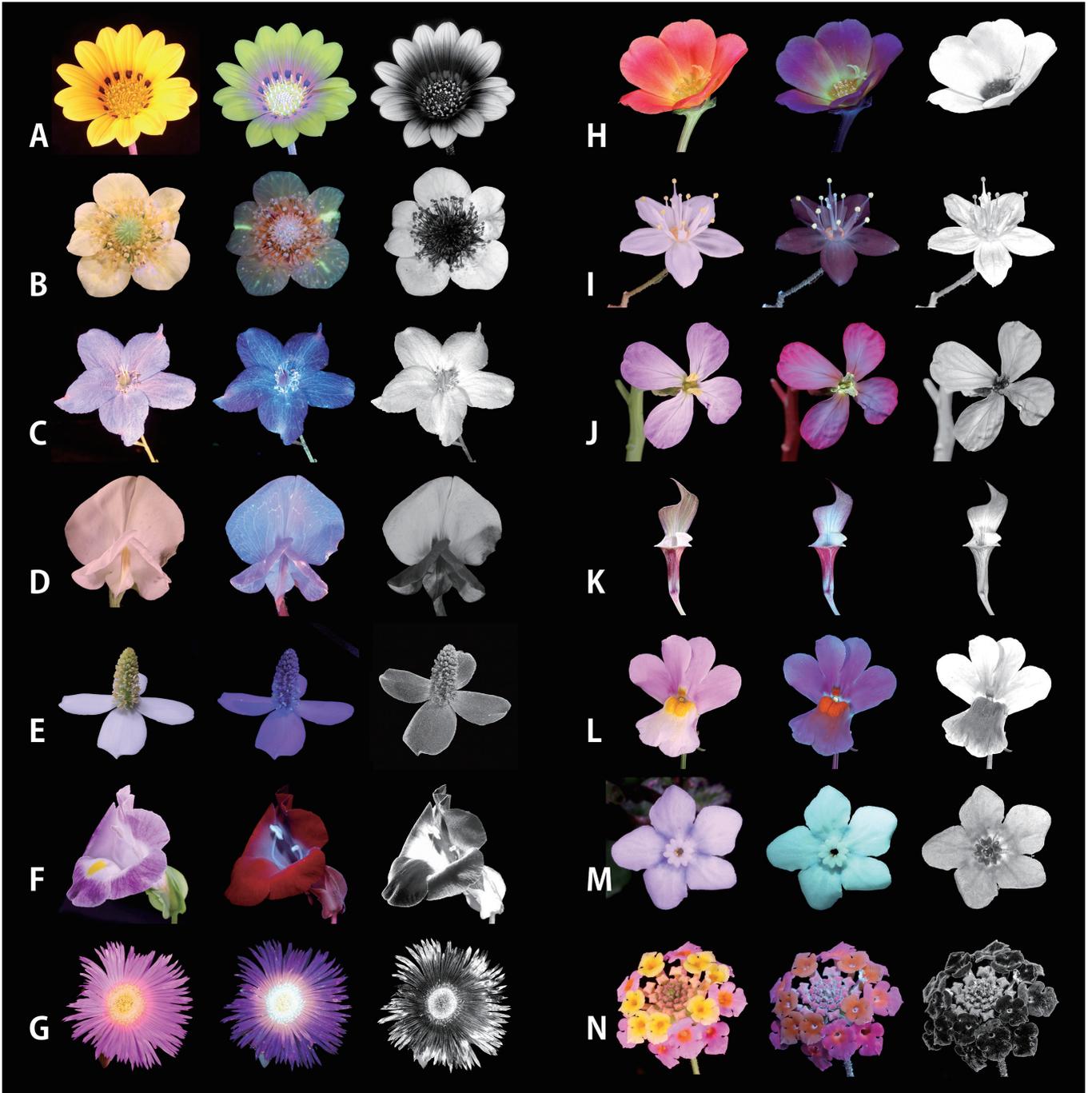


図 29. 可視光（通常光, 左）と紫外線励起蛍光写真（中央）、紫外線写真（右）。A: ガザニア, B: ダイコンソウ, C: デルフィニウム, D: スイートピー, E: ドクダミ, F: トレニア, G: バクヤギク, H: マツバボタン, I: マルバウツギ, J: ハマダイコン, K: ユキモチソウ, L: メネシア, M: ヤマルリソウ, N: ランタナ。

とができた。

4. 紫外線写真と紫外線励起蛍光写真

筆者は最初、紫外線 LED をさまざまなものに当てて紫外線励起蛍光を調べていた。しかし、アブラナに紫外線を当てて紫外線励起蛍光を観察したところ、浅間（2019）に

掲載されていた紫外線写真と同じパターンが現れることに気がついた（図 2）。そのため、紫外線の反射と紫外線励起蛍光の関係に関心を持つようになった。そこで、同じ被写体を使ってそれらの写真の撮影を試みた。

先に紹介した方法でカメラ本体の紫外線カットフィルターを除去し、図 7 の方法に従い、可視光（図 7B）、紫外線励起蛍光（図 7B）、紫外線（図 7A）の 3 つの写真を、レンズのフィルターのみを交換することで撮影した。



図 30. テンジクアオイ属の一種(ゲラニウム)の可視光写真(A)と紫外線励起蛍光写真(B), 紫外線写真(C).

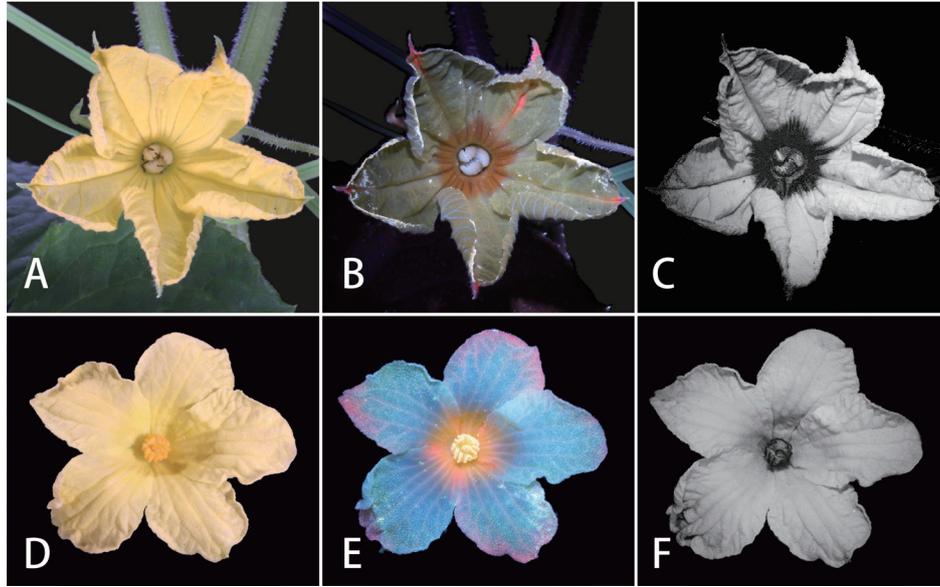


図 31. キュウリ (A-C) とツルレイシ (D-F). 可視光写真 (A, D) と紫外線励起蛍光写真 (B, E), 紫外線写真 (C, D).

可視光や紫外線励起蛍光の写真撮影の場合は、410nm 以下を通さない紫外線カットフィルター (Kenko Zeta UV L41) をレンズに取り付けた。紫外線写真撮影の場合は、ZWB2 または U360 をレンズに取り付けた。さらに、赤外線の影響を防ぐため、いずれの場合も Kenko DR655 の赤外線カットフィルターを取り付けた。

紫外線は懐中電灯型の紫外線 LED ライト (MAINENG 製) を 6 本程度使用した。ほかの紫外線ライトでは電池式で、いちいち 6 本のスイッチを押す必要があったが、この製品は 100V 電源で使用できるため、コンセントスイッチに接続し、複数のライトを一度にオン・オフできるようにした。

また、ネジ式のレンズフィルターを可視光、紫外線励起蛍光、紫外線撮影時に交換する必要がある。そこで、Manfrotto XUME フィルター用フレームを用い、一方のフレームにフィルターを取り付け、もう一方のフレームはレンズ側に取り付け、マグネットですぐに着脱できる 1 組のフレームを使用した。通常、フィルターはネジが切っており、レンズ先端にねじ込む必要があるが、マグネットを利用することでフィルターを簡単かつ迅速に着脱できる。

これにより撮影した写真を図 27～29 に示す。

今までは太陽光のもとで紫外線写真を撮影していたため、他の光が強すぎて紫外線励起蛍光が発生していることに気づけなかったのだろう。筆者が暗所で可視光と紫外線を切り替えて写真を撮影したことで、この比較写真の撮影方法を考案することができた。

図 23～25 において、コマツヨイグサやヒメキンセンカなど、紫外線励起蛍光によって色が変わっている部分が紫外線で黒くなっているものがいくつか見られた。これらの部分は、紫外線を見ることのできる昆虫にとっては蜜標として機能しているのであろう。紫外線励起蛍光の色と同様のパターンを示すものが多かった。

しかし、紫外線励起蛍光での色の变化と紫外線反射パターンが必ずしも一致していない場合もあった。栽培植物であるゲラニウム (テンジクアオイ属の一種) は、可視光 (図 30A) では白くなっている部分が紫外線写真 (図 30C) では黒くなっている。紫外線励起蛍光 (図 30B) では、その部分では可視光との差は特に見られなかった。

ほかにも、紫外線励起蛍光での色の变化と紫外線反射パターンが必ずしも一致しない場合がある。キュウリ (図

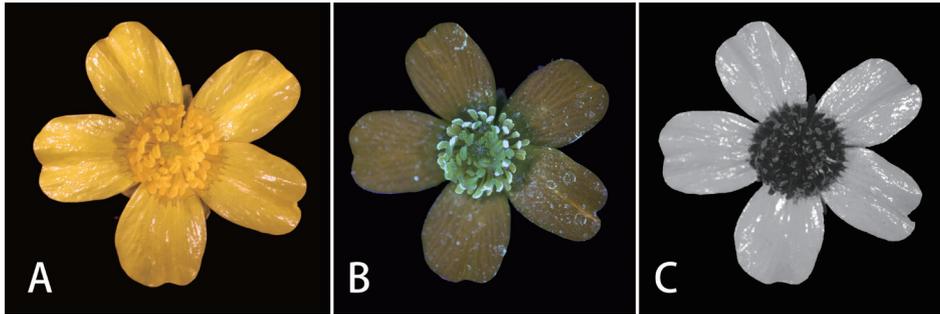


図 32. ウマノアシガタの可視光 (A) と紫外線励起蛍光写真 (B), 紫外線写真 (右).



図 33. リュウキュウアサガオの可視光写真 (A, D) と紫外線励起蛍光写真 (B, E), 紫外線写真 (C, F).

31A-C) では、紫外線励起蛍光での色の变化と紫外線反射パターンが一致しており、紫外線励起蛍光 (図 31B) でオレンジ色に変化した部分が、紫外線写真 (図 31C) では黒くなっている。しかし、ゴーヤとして栽培されているツルレイシ (図 31D-F) では、紫外線励起蛍光 (図 31E) でオレンジ色に変化した部分が、紫外線写真 (図 31F) ではほとんど黒くならず、わずかに中心部が黒くなっている。このように、紫外線励起蛍光での色の变化と紫外線反射パターンが一致しない場合が見られた。

紫外線励起蛍光では、紫外線が照射されると、基底状態から励起状態に移行した電子が基底状態に戻る際にエネルギーを放出し、蛍光が発せられる。いわば、紫外線のエネルギーが別の形に変化しているため、現象としては紫外線を吸収しているように見えるはずである。したがって、通常は、紫外線励起蛍光での色の变化と紫外線反射パターンが一致すると考えられる。しかし、テンジクアオイ属の一種やツルレイシの場合のように、なぜ不一致となるのかは不明である。

紫外線励起蛍光写真の撮影は、紫外線写真撮影の簡易的

な方法とされるが、両者のパターンが必ずしも一致するわけではない点に注意が必要である。

ウマノアシガタ (図 32A) について、針山ら (2013) や針山・村上 (2015) は、花卉の表面に含まれるデンプン顆粒層が紫外線反射を担っていることを指摘している。さらに、デンプン顆粒が高密度に積み重なった円錐構造により、多方向に光を反射していることが明らかにされた。また、デンプン顆粒内に空洞が存在することが紫外線反射を促進していることを示している。図 32C に示すように、ウマノアシガタの花弁の付け根や花の中央部に位置する雄蕊や雌蕊は黒くなっており、紫外線を吸収して蜜標として機能している。紫外線励起蛍光では、花弁の付け根の色が他の部分と異なっており (図 32B)、その部分だけ成分が異なることを示唆している。ウマノアシガタは、花弁のデンプン顆粒で強い紫外線反射を引き起こし、逆に花の中心部では紫外線を吸収して昆虫に目立つようにしている。

図 27 ~ 29 において、花がラップ状 (漏斗状) や筒状になっているものがある。それらの中心部が紫外線写真で黒くなる場合があるが、これは紫外線が花の奥まで届かず、

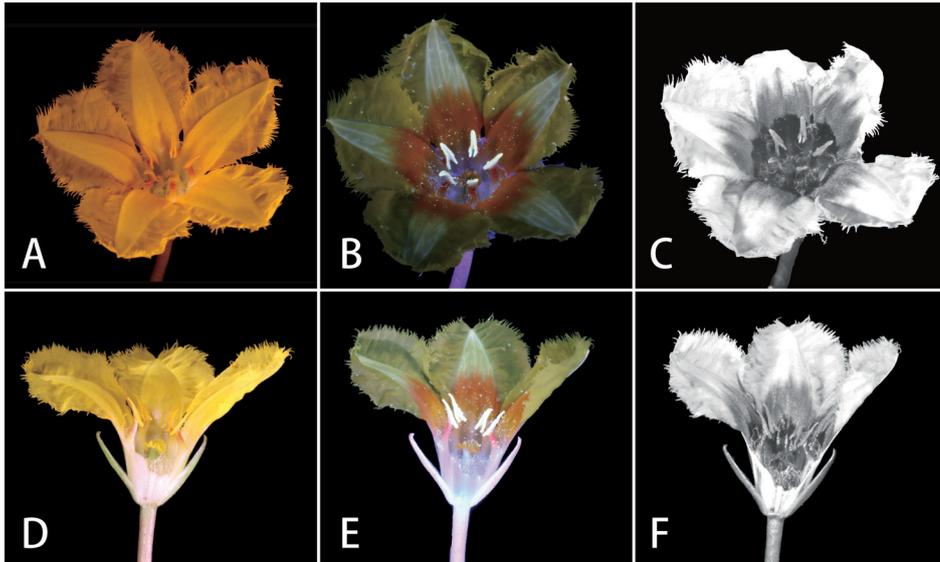


図34. アサザの可視光写真（A, D）と紫外線励起蛍光写真（B, E），紫外線写真（C, F）。

反射されることなく吸収されている可能性が考えられる。そこで、リュウキュウアサガオ（図33）とアサザ（図34）で花の縦断面を作成し、比較してみた。その結果、縦断面でも紫外線励起蛍光写真では花冠下部で色が変わり（図33E、図34E）、紫外線写真ではその部分が黒くなり紫外線を吸収していることが確認された（図33F、図34F）。したがって、このような花の中心が紫外線で黒くなるのは、構造的な理由で紫外線が奥まで届かないのではなく、紫外線を吸収する物質が花冠下部に偏在しているため、紫外線による蜜標が形成されているものと考えられる。

5. おわりに

小川（2018）でも示したように、ブラックライトをさまざまなものに当てて、紫外線励起蛍光の様子を観察することは、子どもたちに発見の喜びを体験させる素晴らしい機会となる。今回、簡単に紫外線写真を撮影できることが明らかになったため、観察の機会がさらに増えるであろう。しかし、紫外線は日焼けを引き起こしたり、目に直接当たると失明の恐れがあるため、目には見えないものの、紫外線を浴びていることを認識しにくいという問題がある。そのため、展示や撮影で長時間紫外線を浴びる場合は十分な注意が必要である。

企画展「かがやく生きもの 一光をまとった生きもの不思議な世界」では、ブラックライトを使ってさまざまな資料の紫外線励起蛍光を観察できるようにして、来館者に見てもらった。その際、展示ケースにはUVカットガラスを使用し、UVカットガラスが使用されていない場合

は紫外線カットの亚克力透明パネルを使った。また、ワークショップなどでブラックライトを使用する場合は、紫外線カットのゴーグルやサングラスを着用するように指導し、紫外線が人体に与える影響ができるだけ出ないように配慮している。

こうした配慮を行った上で、紫外線を当ててその様子を観察し、発見の喜びや驚きを体験することを通じて、自然教育などに活用していただきたい。

謝辞

本研究は、2022年度日本科学協会の笹川科学研究助成「博物館活動の活性化の実践『ボランティアと一緒に光る貝の展示を作ろう』」による助成を受けたものです。

小橋理絵子氏（倉敷市立自然史博物館友の会）には、コハクオナジマイマイに関する情報やキハダの皮の煮汁が紫外線励起蛍光を発するなどの有益な情報を多くいただきました。狩山俊悟氏（元倉敷市立自然史博物館）には、紫外線励起蛍光のワークショップ開催などたくさんのご協力をいただきました。中尾賢一学芸員（徳島県立博物館）には紫外線励起蛍光を発する貝の同定や化石の情報をいただきました。ここに記して感謝いたします。

文献

浅間 茂. 2019. カラー版 虫や鳥が見ている世界—紫外

- 線写真が明かす生存戦略. 中央公論新社, 東京.
- 福原達人. n.d. 花の簡易 (安易) デジカメ紫外線写真. https://staff.fukuoka-edu.ac.jp/fukuhara/uvir/hana_uv.html (2024年10月1日閲覧).
- 針山孝彦・村上勝久. 2015. FIB-SEMによるデンブンプン顆粒内空洞の観察. *Nanotech Japan Bulletin*, 8 (1): 1-7.
- 針山孝彦・下村政嗣・山濱由美・高久康春・下澤楯夫. 2013. ウマノアシガタの高輝度反射と紫外線反射の起源. *高分子論文集*, 70 (5): 221-226.
- 株式会社ニコン インダストリアルソリューションズ事業. n.d. 紫外線撮影用レンズ. <https://digital-sol.Nikon.com/products/industrial-lenses/uv/> (2024年10月1日閲覧).
- 加瀬友喜. 1997. 熱帯太平洋の古生物研究 海洋生物の多様性の起源をさぐる. https://www.kahaku.go.jp/research/researcher/my_research/geology/kase/pdf/kase.pdf (2024年10月1日閲覧).
- 小橋理絵子. 2017. コハクオナジマイマイの車による移動事例. *しぜんくらしき*, (103): 6.
- 松本省吾. 2003. 理科教材としてのデジタルカメラを用いた春の花の紫外線写真. *岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学)*, 28: 11-17.
- 松本省吾. 2005. 花の紫外線写真の教材化. *岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学)*, 29: 1-6.
- 森 信之介, 平井伸博. 2019. 花粉に含まれる蛍光物質の生態学的機能—花粉の蛍光はミツバチを誘うのか?—. *日本農薬学会誌* 44 (2), 244-245.
- Moser, S., Muller T., Holzinger A., Lutz C., Jockusch S., Turro N.J., Krautler B. 2009. Fluorescent chlorophyll catabolites in bananas light up blue halos of cell death. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 106 (37): 15538-15543.
- 鳴橋直弘. 2012. バラ科植物の紫外線写真図鑑. 大阪自然史センター, 大阪.
- 小川 誠. 2010. レファレンス Q & A バナナが光って本当ですか? 徳島県立博物館ニュース, (81): 7.
- 小川 誠. 2016. レファレンス Q & A ダンゴムシはなぜ光るのですか? 徳島県立博物館ニュース, (105): 7.
- 小川 誠. 2017. レファレンス Q & A ホウレンソウのおひたしが光って本当ですか? 徳島県立博物館ニュース, (109): 7.
- 小川 誠. 2018. 徳島県立博物館における紫外線を用いた自然教育の実践. *徳島県立博物館研究報告*, (29): 99-106.
- 小川 誠. 2019. 情報ボックス 植物を赤く光らせよう. 徳島県立博物館ニュース, (116): 4.
- 小川 誠. 2021. Culture Club 藍染めを楽しもう. 徳島県立博物館ニュース, (124): 2-3.
- 小川 誠. 2022. 情報ボックス かがやく生き物. 徳島県立博物館ニュース, (128): 6.
- 小川 誠. 2023. タデアイからインジゴを抽出する2新手法. *徳島県立博物館研究報告*, (33): 85-90.
- 小川 誠. 2024. レファレンス Q & A どうやれば紫外線写真を撮影できますか? 徳島県立博物館ニュース, (136): 7.
- 小川 誠・木下 覺・成田愛治・中村俊之・茨木 靖. 2021. 海陽町の植物相. *阿波学会紀要*, (63): 95-105.
- Obara, Y. and Hidaka, T. 1968. Recognition of the female by the male, on the basis of ultra-violet reflection, in the white cabbage butterfly, *Pieris rapae crucivora* Boisduval. *Proc. Jpn. Acad.* 44: 829-832.
- 鷲野谷秀夫. 2006. デジタルカメラによる紫外線撮影方法の開発. *筑波大学技術報告*, 26: 30-33.
- 鷲野谷秀夫. 2012. 紫外領域から赤外領域の写真撮影について. *筑波大学技術報告*, 32: 14-19.
- Seki, K., Inoue, S., Asami, T., 2002. Geographical Distributions of Sibling Species of Land Snails *Bradybaena pellucida* and *B. similaris* in the Boso Peninsula. *Venus*, 61 (1-2): 41-48
- 須川哲夫・中津克隆・城田常雄. 2004. インビジブルインクの開発. *DNTコーティング技報*, (4): 42-44.
- 田中 肇. 1982. 紫外線写真による花の観察. *ミツバチ科学*, 3 (3): 117-118.
- 植地岳彦. 2006. デジタルカメラによる赤外線撮影の事例. *徳島県埋蔵文化財センター研究紀要*, (6): 97-102.
- 碓井 徹. 2017. 昆虫の視覚世界へのアプローチ (VIII) デジタルカメラによる紫外線写真撮影のための覚え書き (その5). *寄せ蛾記*, 166: 42-57.
- 内海俊策. 2003. 花はなぜ美しいか 2. 蜜標と蜜腺. *千葉大学教育学部研究紀要*, 51: 319-329.
- 山川 倫央. 2008. 光る石ガイドブック: 紫外線励起蛍光鉱物の不思議な世界. 誠文堂新光社, 東京.
- 山川 倫央. 2009. 紫外線励起蛍光鉱物 & 光る宝石ビジュアルガイド: 光る石を楽しむデータ・ブック. 誠文堂新光社, 東京.