

実 施 内 容 報 告 書

課題：顕微鏡対物レンズを用いた深度合成写真パネル制作システムの開発と微小昆虫展示
交付番号：19010 機関名：長岡市立科学博物館 氏名：星野 光之介

1. 事業の概要

身近な自然環境で見られる微小昆虫の魅力を知ってもらうため、顕微鏡対物レンズと深度合成技術を用いて高精細な拡大写真パネルを製作するシステムを開発し、その運用によって地域の微小昆虫の種多様性の展示を拡充する。

2. 当博物館の概要

【長岡の自然と人文の総合博物館】

長岡市立科学博物館は昭和26(1951)年8月1日に新潟県長岡市悠久山公園内に誕生した市立の総合博物館である。開館以来市民の学びの場として70年近くの歴史を刻み、2度の施設移転を経て、現在は信濃川に面した「さいわいプラザ」(長岡市幸町)内に所在する。

地学・植物・動物・昆虫の自然系4部門と考古・歴史・民俗・文化財の人文系4部門の計8部門からなり、14名の学芸員が勤務している。主に長岡市を中心とした各分野の資料収集・調査研究を行い、常設展示に加えて企画展示や教育普及活動等も実施している。

当館の特筆すべき収蔵資料としては火焰型土器を始めとした長岡市内出土の土器群や、同じく長岡市内から発掘されたヒドロダマリス属海牛化石が挙げられる。また定期刊行物として、研究紀要「長岡市立科学博物館研究報告」と館報「NKH」をそれぞれ年に1回発行している。



図1 長岡市立科学博物館の展示室概要(パンフレット掲載図)

【日本海側多雪地域・長岡の生物の多様性を学ぶ「長岡のすがた」展示】

生物系3部門（植物・動物・昆虫）では、市町村合併によって長岡市が日本海沿岸から本州脊梁山脈までをカバーする自治体となったことから、近年では垂直方向の環境の多様性にスポットを当て、山間部・平野部・海岸部の3つのゾーンに分けた生物相の展示に力を入れてきた。『山間部の自然』展示では市街地に近い長岡東山連峰(700m級)から市内最高標高の守門岳(1400m級)にかけての山地の生物相を展示している。このエリアは森林が大部分を占めることから最も種多様性が高いゾーンとして捉えられ、希少な動植物の剥製・標本も多く含まれる。冬季の積雪量が非常に多い地域であり、本州日本海側気候の代表的な生物相を扱う展示資料として極めて重要である。『平野部の自然』展示では越後平野および周辺の丘陵地に生息する生物相を展示しており、荒地や公園緑地など攪乱度の高い環境に特徴づけられる。信濃川の広大な河川敷の周辺に都市が成立する長岡市においては市民に最も身近な生物相展示と言える。

『海岸部の自然』展示では日本海に面した海浜生物相にスポットを当て、合併以前の市民にはなじみの薄かった日本海の自然を学ぶ貴重な資料となっている。

いずれの展示においても一般に教科書等で触れられることの少ない日本海側多雪地域の生物相の特徴を示した展示となっており、地域住民の生涯学習や学校教育において郷土の自然を実物資料から学ぶ重要な機会を提供している。



図2 「長岡のすがた 山間部の自然」展示

【地域と時代を色濃く反映する昆虫標本コレクション】

昆虫部門は博物館開館時より創設され、現在までに50点以上の完模式標本を含む1,600箱以上の昆虫標本を収蔵している。地域昆虫相から世界の大型・美麗昆虫まで変化に富んだ県内最大の昆虫コレクションとなっており、特に新潟県内および長岡市内の昆虫相に関しては70年近くにわたって継続的に収集されてきたことから他に比類なき充実度を誇る。新潟県の自然環境の微細な変化を記録したものとして大変貴重なものである。

3. 事業の実施場所及び実施期間

場所：長岡市立科学博物館 長岡のすがた展示室（常設展示室）

山間部・平野部・海岸部の自然展示ゾーン

期間：通年

5. 事業の目的

【微小昆虫に着目しよう】

昆虫は総種数が1,000万種とも言われ、あらゆる生物の中で最も種多様性が高いことで知られる。しかしながら一般的にイメージされる昆虫、例えばチョウやトンボ、大型の甲虫類は、昆虫としては種数の多いグループとは言い難い。昆虫の種多様性の大部分は、ふだん目につかないような体長わずか数ミリメートルの微小な種によって構成されている。

こうした微小な昆虫相は環境変化に対する応答性がきわめて高いことから、その群集構造を解明することによって自然環境の地域間のわずかな差異や時間経過による遷移の進行を仔細に読み取ることができる。長岡市においても当館が実施してきた地域別の昆虫相調査により、一見同じような生息環境でありながら大きく異なる構造を示す昆虫群集の例がいくつも示されてきた（山屋, 2012; 2013; 2016他）。微小昆虫を含めると都道府県レベルでも数千種以上という膨大な種数の昆虫が記録されることになるため、ごく狭い範囲の調査であっても驚くほど繊細にその場所の環境が持つ独自性を示すのである。

したがって、地域の自然環境を読み解きその特徴や独自性を学ぶにあたって、微小な昆虫の存在に目を向けることは非常によい材料となる。地域に固有な種や希少性の高い種が新たに発見される可能性も充分にあり、実際に微小昆虫の発見に端を発した環境保全活動への発展も例がある。また様々な環境に適応した昆虫はそれぞれの種が一風変わった形態を備えていることも少なくなく、形態そのもののおもしろさに着目してみると行動学的・進化学的背景を想像でき一層興味深い観察となるだろう。昆虫の生態や行動はほとんどが未解

明であるため、新たな発見につながる
ことが大いに期待されるものである。

小ささゆえに殆ど注目されることが
ない微小昆虫であるが、姿形は決して
地味なものではなく魅力に満ち溢
れている。その存在は保護対象生物と
して知名度の高いトキやギフチョウ
と何ら変わらないものであり、地域の
自然が長い年月の中で育んできた共
有財産として、1人でも多くの市民に
興味関心を持ってもらうことが望ま
れる。



図3 微小な甲虫の例 左:美しい金属光沢を持つカシルリオトシブミ。体長約3.5mm (安田・沢田, 2009より引用); 中:鋭い大アゴを持つオオキバチビヒラタムシ。体長約3mm。(平野, 2009より引用); 右:コントラストの強い模様を持つヨツボシハムシ。体長約5mm。(尾園, 2014より引用); いずれも長岡市内で観察される。

【微小昆虫を観察する深度合成撮影】

数ミリメートルの昆虫の標本は標本箱に並べても肉眼では観察が難しく、展示ケース越しであれば殆ど点のようにしか見ることができない。形態観察のための手法としては一般的にルーペや双眼実体顕微鏡による検鏡が用いられるが、研究用途としては優れていても、博物館展示に供するには限定的な手法である。これらのツールの基本的な扱いについての知識がなければ正しく観察できない上、実体顕微鏡はそのものが高価な機器であるため多人数に対応することも難しいからである。機器操作の体験も含めた展示としてはよいが、見

ることそのものに主眼を置いた場合には拡大像だけが手軽に見られる状態が望ましい。

そのような展示に優れているのは映像や写真であり、拡大状態の標本を撮影しパネル展示することができれば多くの人が詳細な形態を見ることができる。しかし、チョウやトンボや大型甲虫であればマクロレンズで絞り込んで撮影すればよいものの、数ミリメートルの昆虫となると通常のマクロレンズでは拡大率が不足している上、仮に顕微鏡に取り付けるなどして高倍率を得たとしても被写界深度が浅すぎて大型昆虫と同じような撮影像を得ることができない。電子顕微鏡を用いる方法もあるが、実物と異なりモノクロの画像であることから興味関心をやや惹きつけにくいという欠点がある。

このような問題を解消し美しい高倍率撮影を行うために近年用いられているのが、顕微鏡対物レンズを用いた高倍率撮影および深度合成と言われるデジタル画像処理である。

従来、顕微鏡のレンズを用いて高倍率撮影を行う場合は専用のアダプターを用いてカメラを顕微鏡本体に取り付けるとするのが一般的である。ここでの顕微鏡対物レンズを用いた高倍率撮影とは顕微鏡用の対物レンズのみをカメラに装着する手法であり、通常のカメラレンズと同じように使えるため、取り回しの自由度が大幅に向上するというメリットがある。

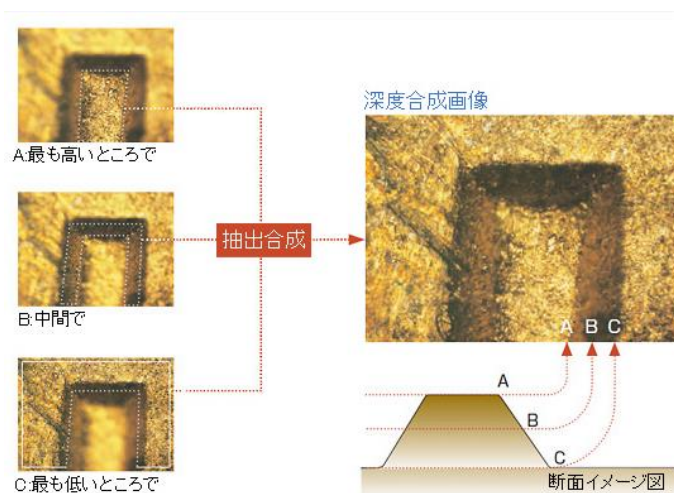


図4 深度合成の仕組み (KEYENCE社WEBサイトより引用)

深度合成とは微動装置（マイクロメーターと同じ機構を持つ微動ステージを利用することで、正確に0.01mm刻みなどのわずかなピント移動を行うことができる）を用いて少しずつピント面をずらした写真を被写体の奥行き分だけ複数枚撮影し、専用のソフトウェアでデジタル画像処理によって合焦部分のみを抽出合成する手法である。これによって被写体のどの部分にもピントが合った撮像を得ることができ、また撮影そのものは通常デジタルカメラで行われるため美しいカラー写真であることが大きなメリットである。

本事業では顕微鏡対物レンズとデジタル一眼カメラ、微動ステージを利用してピント面をずらしながら微小昆虫を撮影し、深度合成処理によって高解像拡大写真を得たのち、プリントして拡大写真展示パネルを作成する一連のシステムを構築する。またこれを利用して微小昆虫の展示をアレンジし、長岡市の身近な地域に人知れず生息する微小昆虫の姿を分かりやすく紹介することを目的とする。

6. 事業の実施内容

【顕微鏡対物レンズを用いた深度合成撮影システム】

先に述べたように深度合成撮影の理論自体は単純なものであり活用例も多いが、いざゼロから実践となるとレンズの選択やカメラへの取り付け方、撮影設定、深度合成ソフトウェアの設定など様々な壁があり、またそれらの情報はノウハウとして体系化されていないものも多くあった。このような状況下で様々な実践例をもとに試行錯誤を繰り返し、最終的に市販製品で実現可能かつ十分に高品質な深度合成撮影を行うことができたので、本報告では、実際に使用した機材と、特に重要と思われるポイントをまとめた。

(1)撮影機材

①使用カメラ

<SONY α 6300>

基本的にどのようなレンズ交換式デジタルカメラでもシステムを構築可能と思われるが、電子シャッター（サイレントシャッター）による撮影が可能なミラーレス一眼を用いるとシャッターショックを完全に抑えることができ、シャッターを切る動作（リリース）に起因するブレの心配がない。またカメラマウントによってはマウント変換アダプターの入手が困難な場合があり、先に確認しておく必要がある。

②使用レンズ

<ミットヨ M Plan Apo 2X, 5X, 10X ; Raynox DCR-150, DCR-250>

高倍率撮影用の顕微鏡対物レンズとしてよく知られるのはミットヨ製無限遠補正対物レンズ M Plan Apo シリーズであり、光学性能に優れること、扱いやすいこと、安価で入手しやすいことから使用例が多い。このレンズは単体では撮影できず、対物レンズとカメラの間に結像レンズを用意する必要がある。結像レンズとしては焦点距離200mm程度の望遠レンズが用いられる他、レイノックス製マクロコンバージョンレンズ（DCR-150, DCR-250）が安価ながら非常に優れた結像レンズとなることが知られており、広く用いられている。本事業でもこれらのレンズの組み合わせを用いた。

なお、昆虫標本を撮影する場合、撮影範囲が1～2cm以上ある場合はカメラ用の等倍マクロレンズで充分で、5～10mm程度では2～3倍程度の倍率が必要になる。さらに5mm程度では5倍、2～3mm未満では10倍が目安となる。1～5倍程度をカバーするカメラ用マクロレンズもいくつか市販されており有用だが、高倍率では顕微鏡対物レンズの方が光学的性能が良い。

③カメラとレンズの接続

<汎用延長鏡筒等>

対物レンズはカメラレンズでは使われない特殊なマウントであることが殆どで、また結像レンズを間に挟むことから、カメラ-結像レンズ-対物レンズを接続するためにいくつかの特殊なマウント変換アダプターが必要である。このようなアダプターは電動微動ステージを取り扱う業者がアクセサリとして販売していることが多い（後述）。

またカメラ-結像レンズ間、結像レンズ-対物レンズ間の距離は使用するレンズの組み合わせによって最適な距離が決まっており、マウント変換アダプターの厚みを考慮したうえ

で延長鏡筒（接写リング）やベローズを用いて調整する必要がある。この距離が適切でないと対物レンズの性能を引き出すことができず、シャープな像が得られない。

さらに各種アダプターや延長鏡筒を接続する際に注意したいのが内面反射処理である。レンズを通過した光は鏡筒内部に光を吸収しない部分があるとそこで乱反射して撮像の解像度やコントラストを落としてしまう。市販のカメラレンズでは丁寧に処理されているが、アダプター類を自分で組み合わせて鏡筒とする場合は必ずしも部品ごとに処理が徹底されていないため、無反射布シールなどを使って手作業で処理する必要がある。

④撮影台と微動ステージ

<WeMacroRail>

撮影台はカメラを固定し、その先に撮影標本のピンツ位置を調整できるZ軸方向の微動ステージを取り付けてセッティングする。撮影方向はカメラを下向きに構える場合と水平に構える場合があるが、撮影標本の位置や姿勢の微調整は下向きの方が圧倒的に扱いやすい。簡易的にはコピースタンドとZ軸微動ステージを用いて構成可能だが、対物レンズを用いた高倍率撮影の場合、ピンツ送りは数十 μm から数 μm 程度の操作となり、深度合成に必要なカット数も数百枚に達することが普通である。そのため手動での撮影には限界があり、ステッピングモーターと制御装置を用いた電動微動ステージを利用する方法が主流になりつつある。

このような電動微動ステージは国内で取り扱いがなく海外の業者からの直接輸入となる。2019年現在主な電動微動ステージ製品としてStackShot、WeMacroRail、MJKZZ等があり、いずれもピンツ送りとレリーズを自動化することができる。本事業ではWeMacroRailのシステムを使用した。このシステムには撮影台、対物レンズを除くレンズ構成部品、電動微動ステージ、制御ソフトウェアの全てが含まれ、撮影に必要な機材の多くを揃えることができた。

販売店では電動微動ステージのほか対物レンズの利用に必要な各種アダプター類も取り扱っているため、こうした業者の取り扱うキットを導入するのが機材を揃える上で最も簡便である。



図4 撮影装置 電動微動装置WeMacroRailを使用。ライティングにはLED照明を定常光として用いた。

(2)撮影方法

①撮影標本

撮影に用いる標本は整形のほかに顕微鏡下での丁寧なクリーニングが必要である。特に高倍率撮影ではわずかな汚れやゴミも非常に目立つため、面相筆や精密ピンセットを使用して入念にクリーニングしなければならない。クリーニングの際には水やエタノールだけでなく、水酸化ナトリウム0.2%水溶液(アルカリ電解水として販売されているもの)や乳酸といったタンパク質汚れや皮脂汚れを洗い流すための薬品も使用した。

標本にすると変色する種などは、殺虫したのち生の状態で撮影するのが理想である。生体は動き回るため対物レンズによる深度合成撮影ではあまり現実的でない。

②ライティング

ライティングは一般的なマクロ撮影の手法を用いるが、フラッシュよりもLED照明等による定常光の方が安定した露光となるため、合成時に調整が必要なく適している。ただしシャッター速度を数分の1秒～数秒程度の長時間露光にしなければならないことがあり、撮影台全体の振動に細心の注意を払う必要がある。

③撮影倍率

被写体が撮像素子のサイズに収まらない場合があるが、そのような場合は被写体を分割して撮影・深度合成し、最後に画像編集ソフトでパノラマ合成した。

(3)合成方法

①深度合成ソフトウェア

Combine ZP(無償)、Affinity Photo(有償)、Zerene Stacker(有償)、Helicon Focus(有償)など様々な深度合成ソフトウェアがリリースされている。無償ではCombine ZP、有償で



図5 制作した深度合成写真パネル 展示サイズでは体表の鱗片まではっきりと観察できる。

はAffinity Photoが使いやすく、どちらも難しい操作なく深度合成することができた。またZerene Stackerでパラメータ設定の微調整やレタッチ機能を丁寧に活用することでさらに高品質な深度合成を行うことができたが、これには時間がかかるため使い分けが重要と思われる。

②深度合成の難しい被写体

高倍率撮影では1カットあたりの合焦範囲がごく狭いため、その前後に大きなボケができる。問題になるのは合焦範囲より手前にある前ボケで、例えば前脚の上に触角が交差している場合、触角が前ボケとなって掛かるため交差部分付近の前脚の鮮明な撮像を得ることができなかった。これは倍率が上がるほど顕著な問題となり、深度合成しても当該部分にもやが掛かったような状態になってしまう。毛が密集している被写体も同様であった。

【写真パネルの制作】

深度合成ソフトウェアから出力された画像は、露光量の調整や背景の削除等のレタッチを行ってインクジェットプリンタで出力した。高品質なプリント結果を得るため、プリンタはフォトプリント用の多色インクジェットプリンタ(Canon PRO-100S)を使用し、用紙も純正の光沢フォト用紙、カラースペースは撮影から一貫してAdobe RGBで作業した。ランニングコストとしては安価であるが、非常に高精細で色再現のよいパネルを出力できた。



【深度合成写真パネルを用いた微小昆虫展示】

本事業では深度合成した微小昆虫に解説を加え、1種あたりA4サイズに出力したパネルを計18種分制作した。常設展示室で展示している微小昆虫の中でも特に種数の多い甲虫をテーマとして制作し、2020年3月から展示を開始した。対応する標本には番号を振ることで、迫力ある拡大写真パネルと実物の標本を対照的に見比べることができる展示



図5 深度合成写真パネル展示 親しみやすいユニークな種を多く選んで制作した。写真はそれぞれ標本箱内の展示標本と対応させた。

となった。

パネルと標本の対応番号を入れ替えるだけで簡単に展示種を変更できるため、撮影に適した状態の良い標本を得た時に写真データを蓄積しておくことで、いつでも展示をリニューアルすることができる。

7. 期待される効果

微小昆虫は多くの昆虫標本展示の中に含まれているが、どうしても大型の昆虫に埋もれてしまい、注目していく観覧者はごくわずかなのが現状である。そのままの展示では肉眼で見ても同じような「点」にしか見えないことから、そうした微小昆虫が非常に多様な種によって構成されていることも認識しにくい。

本事業によりこうした昆虫にスポットを当て、その魅力を余すところなく引き出す拡大写真パネルにより紹介することで、微小昆虫種のひとつひとつが大型の昆虫と見劣りしない優れた個性を持っていることを実感してもらいたい。また身近な環境の中にきわめて多様な微小昆虫が生息していることが認識されれば、ごく身近な自然が驚くほど多くの生物種によって成り立っているという生態系のダイナミズムが垣間見えてくるはずである。当博物館は70年近い歴史の中で地域の昆虫標本を多数収蔵していることから、種多様性の魅力を伝えるために活用し、地域の自然を再認識してもらえれば幸いである。

また今回制作した一連の深度合成写真パネル制作システムは、他の展示事業、普及活動事業等においても安価なランニングコストで活用可能なものである。微小昆虫だけでなく、大型昆虫の体表構造や各器官の観察にも優れたツールとなることが期待できる。

引用文献

- 尾園暁, 2014. ハムシ ハンドブック. 文一総合出版.
- 高嶋清明, 2017. ボーグ+顕微鏡レンズで高倍率撮影. 自然科学の教科書① 超拡大で虫と植物と鉱物を撮る 超拡大撮影の魅力と深度合成のテクニック, 文一総合出版:106-108.
- 平野幸彦, 2009. 日本産ヒラタムシ上科図説 第1巻 ヒメキノコムシ科・ネスイムシ科・チビヒラタムシ科. 昆虫文献 六本脚.
- 湊和雄, 2017. ハイビスカスの花粉を撮る. 自然科学の教科書① 超拡大で虫と植物と鉱物を撮る 超拡大撮影の魅力と深度合成のテクニック, 文一総合出版:104-105.
- 安田守・沢田佳久, 2009. オトシブミ ハンドブック. 文一総合出版.
- 山屋茂人, 2012. 長岡市水梨町信濃川の甲虫群集. 長岡市立科学博物館研究報告, (47):1-16.
- 山屋茂人, 2013. 長岡市鋸山におけるブナ二次林の甲虫群集. 長岡市立科学博物館研究報告, (48):9-30.
- 山屋茂人, 2016. 長岡市東山ファミリーランドおよび三ノ峠の甲虫群集. 長岡市立科学博物館研究報告, (51):19-54.
- “KEYENCE 顕微鏡入門ガイド: 深度合成”.
- [https://www.keyence.co.jp/ss/digital/beginner/technology/depth_composition/]. 2019-2-1アクセス.