

画像処理技術の学術資料への応用

篠原 功 治*

Application of Technology of Image Processing to Materials for Study Koji Shinohara

This paper is organized by the descriptions on two methods of the image processing and ten images as result and the considerations. An author describes the process of making the image called an All-Focused Image and a Digital Photo Collage, which is composed by only partial images without a blur after multiple pictures changing the focal distance from the same subject to a lens are taken in case of the picture-taking of a material for the insect and convert digital ones and is clearer than each taken picture and remind of genuine article materials and awaken the interest of science, and how to repair broken points and get rid of adhered dusts and eliminate a fixed insect pin. These results, which are *Phanaeus palaeno*, *Eupholus sp.*, *Cyclommatus elaphus*, *Phalacrognathus muelleri*, *Rhactulus dideri* and an obscurity, are shown with explanations according to each feature. The use of them and the efficacy in the museum as well as the educative effect produced by this way are considered and the validity to apply technologies of the image processing to materials for insects is found out.

はじめに

博物館活動において、実物資料の二次資料化は、情報創出の重要な要素を含んでおり、収蔵資料のデータベースの構築や、企画展の解説書・解説パネル、教育普及活動のテキストなどへと利用され、実際の実物資料による展示が持たらす社会教育効果をよりよく支援する役割がある。

1996年に東京大学総合研究博物館で開催された「デジタルミュージアム」展では、現在も発展途上であるデジタル技術が、博物館の学術資料に対して、どのような可能性を持ち合わせているのかが提案された。資料をデジタル化し、記録することで、半永久的に劣化のない保存を可能とすることができるデジタルアーカイブでは、資料の特徴に合わせて、デジタル化が行われ、データベースにデータ群を収蔵することができる（坂村健, 1996）。

本論文では、収蔵資料である昆虫資料を撮影する際に、同一の被写体からレンズとの焦点距離を変えて複数枚の写真を撮影し、デジタル化した後に、ぼけを含まない画像部分のみを合成することで、より鮮明で、そして実物資料を彷彿させ、科学心を喚起させる全焦点画像やデジタル・フォト・コラージュと呼ばれる画像の作成法や（以降、全焦点画像と記す。児島和也ほか, 1997; 小檜山賢二, 1997, 1998）、それに伴い、昆虫資料の劣化部の

補修や付着した塵埃の除去、固定された昆虫針の削除の処理法を示し、次に、この画像の博物館での利用とその効力及び、昆虫資料によるこの画像作成法がもたらす教育的効果についての考察を行った。

昆虫資料撮影方法

博物館が収蔵する昆虫資料の撮影とデジタル化は、原則として Apple 社の Power Macintosh G3 で条件設定を行い、FUJIX DIGITAS CAMERA DS-565により撮影を行った。レンズは、Nikon AF NIKKOR 35-105mm を使用し、カメラとレンズの接続部は、Nikon ベローズアタッチメントを用いることで、小さな被写体である昆虫資料の撮影を可能とした。照明は、Nikon マクロスピードライトを連動させ、凹凸が激しく、奥行きがあり、更に体長が小さな昆虫資料の場合は、フラッシュを加えた。焦点距離を変更する作業は、Nikon ベローズアタッチメントによって固定されたカメラとレンズの距離を変更する方法と距離は一定の状態、レンズのズームを変更する方法を用いた（Fig. 1）。12枚の写真撮影終了後、Power Macintosh G3 に入力し、ディスプレイで確認し、ファイルに保存する。Fig. 2では、複数枚撮影した写真の中の2枚であり、昆虫資料の前方部と後方部にそれぞれ焦点が合っていることが確認できる。Fig. 3では、Fig. 2における濃淡によるヒストグラムを示す。1つの全焦点画像の作成にこのサイクルを3回～6回行う。撮影を始め

* 愛媛県総合科学博物館 学芸課 科学技術研究科
Dept. of Science and Technology Ehime Pref. Science Museum

る前には、テスト撮影を行い、視点・シャッター速度・絞り・放射輝度を調整しながら決定する。



Fig. 1 The instrument for a shot and locations changing a focal distance.



(a) front (b) rear
Fig. 2 The image focused (a) front and (b) rear of the Subject.

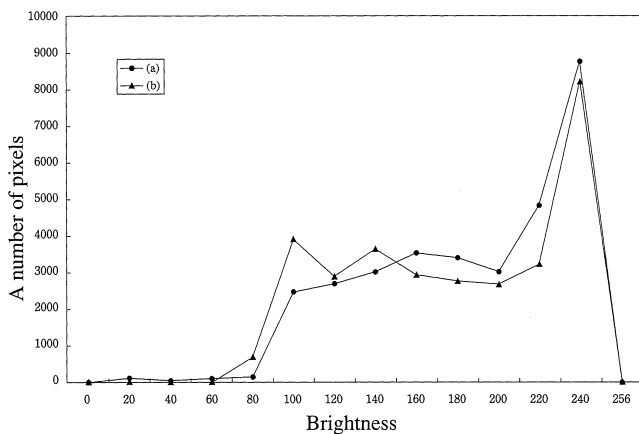


Fig. 3 The comparison of the brightness histogram (a) with (b) in Fig. 2.

デジタル画像処理

1 レンズによる明度低下現象について

レンズを用いた撮影では、放射輝度が一様な被写体を撮影しても、画像中心から、離れるに従って明度が低下することが知られている。この原因として、単一レンズを用いての撮影過程で生じる $\cos^4 \theta$ 現象と、幾枚数のレンズが、筒状の光路を構成することで生じる口径蝕現象がある（天野晃ほか、1997）。

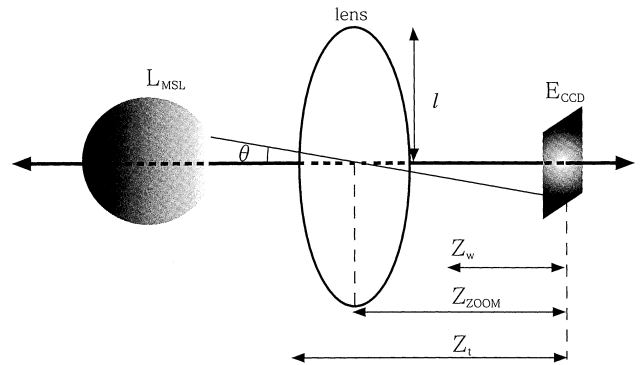


Fig. 4 The model of a camera composed by a convex lens and a subject.

$\cos^4 \theta$ 現象では、明度低下は、凸レンズと被写体で構成されるカメラモデルの撮影過程から光学的に導くことができ、レンズの半径を l ，入射光源がレンズの光軸となす角度を θ ，レンズから CCD までの距離を Z_{ZOOM} ，被写体表面へ放射輝度を L_{MSL} とすると、CCD での放射照度 E_{CCD} ，次式で表される（Fig. 4）。

$$E_{\text{CCD}} = \frac{L_{\text{MSL}} \pi l^2 \cos^4 \theta}{Z^2 Z_{\text{ZOOM}}}$$

このことより、放射輝度 L_{MSL} が一定であると仮定した場合でも、レンズの半径 l つまり、レンズへの光の入る量を調整する絞りに関係なく、撮影された画像は、中心から離れるに従って、 $\cos^4 \theta$ の割合で放射照度は、低下する。 $\cos^4 \theta$ は、 θ が大きくなるに従って急激に値が低下する関数である（天野晃ほか、1997）。

また、昆虫資料は、3次元の実物資料であり、被写体前方部と後方部の撮影時を考える場合、レンズから CCD までの距離 Z_{ZOOM} が異なる。後方部の撮影時の CCD までの距離 Z_t ，前方部の撮影時の CCD までの距離 Z_t ，とすれば、 $Z_t > Z_w$ であり、式より、画像上の後方部の放射照度 E_t は、前方部の放射照度 E_w に比べて、 ΔZ の要因で低下する。

口径蝕現象では、複数枚のレンズが円筒状の構成する場合に、光軸に対して傾きをもった入射光が前面のレンズを通過した後、後面のレンズの縁によってさえぎられることによって生じる。これらの3要素の関係を Fig. 5 で表す。

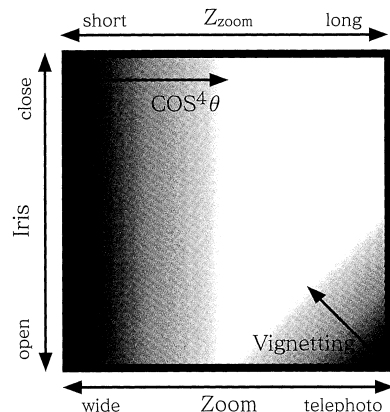


Fig. 5 The relation of a change of the intensity caused by Zzoom and Zoom and Iris.

2 レンズによるぼけについて

f で表される像は、ある面 α から β へ光により伝搬された場合、回折により、面 β では、 g で表される。つまり、回折により f から g へ光学変換が行われたとみなすことができる。この変換は、フラウンホーファ回折によるフーリエ変換とフレネル回折によるフレネル変換が分けられている。面 α から面 β の距離が大きい場合がフラウンホーファ回折に対応する。

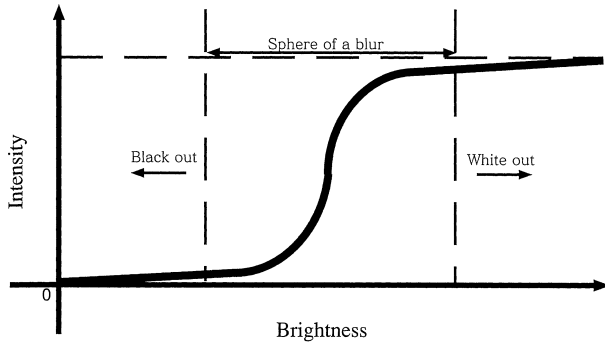


Fig. 6 The sphere of a blur on the tone curve.

レンズを媒質として光が伝搬する場合、回折を考慮し、レンズを伝搬後の結像特性を考えることで、点拡がり関数を説明することができる。点物体とその像の関係である点広がり関数 $h(x)$ は、原画像 f と劣化画像 g の関係を示すものであり、劣化関数とも呼ばれ、ぼけを表すものであり、周波数領域では、フィルタ $H(\xi)$ となる（篠原功治, 1998）。Fig. 6では、2値画像の明度と濃淡のトーンカーブにおけるぼけの領域を示す。

3 幾何補正について

画像の幾何補正とは、幾何歪みを除去することであり、ここでは、ぼけを含む画像から、そのぼけを除去し、ぼけを含まない画像つまり、全焦点画像へ変換することをいう。主にリモートセンシング画像を対象として行われている。幾何補正の方法は、理論的補正式を用いて行う系統的補正法と基準点を用いて決定する補正式による非系統的補正法、これらを組み合わせた併用補正法がある。この併用補正法として、隣接する画像をつなぎ合わせるモザイクと呼ばれる手法は、画像の重複部分の画像を利用して、位置合わせと色合わせを行った後、隣接する画像を接合することによって幾何補正が行われる。（高木幹雄ほか, 1995）。

ここでは、併用補正法を用いる。1枚のBase画像をランダムに選定する。次に、撮影された複数枚の画像からぼけを含まない画像部分を選定する。その各画像に対して、Base画像に対応する位置を合わせる。Fig. 7では、全焦点画像作成過程を示し、Fig. 8では、幾何補正によるぼけを含む画像部分の除去を示す。

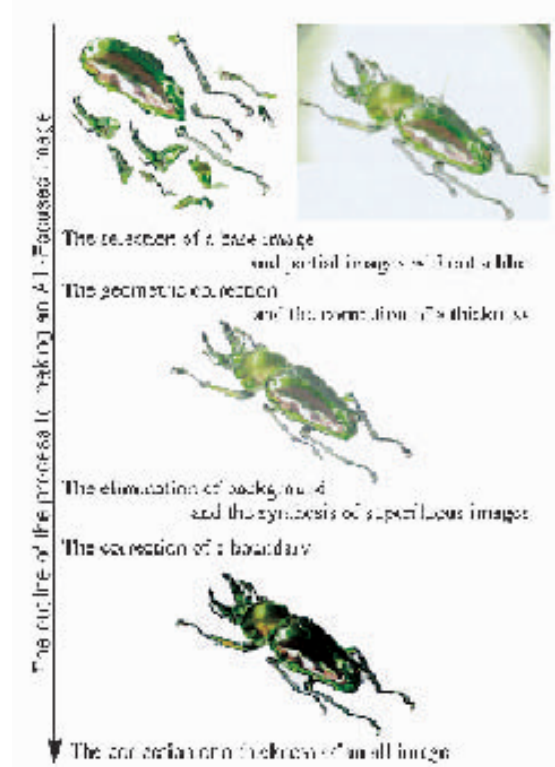


Fig. 7 The outline of the process to making an All-Focused Image

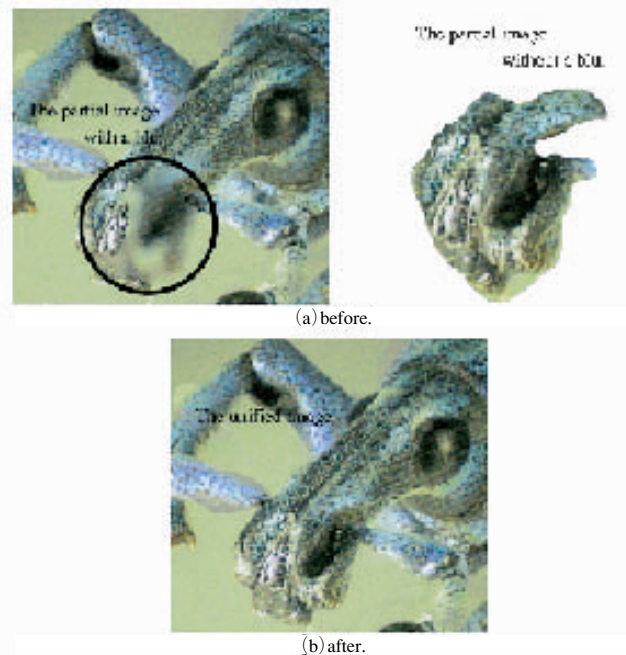


Fig. 8 The elimination of partial image with a blur by the geometric correction. (a) before, (b) after.

4 濃度補正について

重複部分の画像を各画像ごとに異なる明度と濃淡を一致させる。主にヒストグラム一致法と、線形濃度変換法、平均濃度差補正法がある。まず、トーンカーブによる線形濃度変換法を用いる。レンズによる明度低下現象を補正するためには、幾何補正の後に、Base画像のぼけを含まない画像部分の明度に、撮影によりFig. 5の要因によって明度低下を伴った複数枚の画像から選定したぼけを含まない画像部分の明度を、トーンカーブを調整させることで一致させる。

Fig. 9では、トーンカーブによる明度低下の補正を示す。次に、重複した画像を統合し、被写体以外の背景部分を同一色にする。この後、Base 画像上の幾何補正したばかりを含まない画像部分を境界の濃度差を平均的濃度差として補正する。Fig. 10では、平均濃度差補正法による境界の補正を示す。この後に、画像全体をトーンカーブによって補正する。(平野邦彦ほか,1998)。

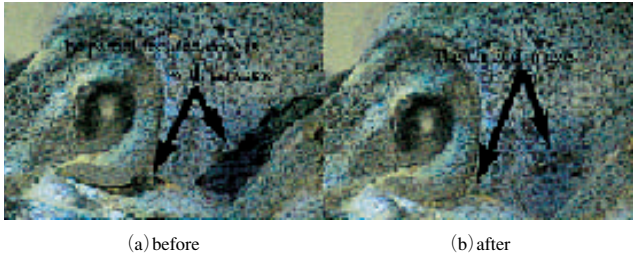


Fig. 9 The correction of a thickness by tone curve. (a) before, (b) after.

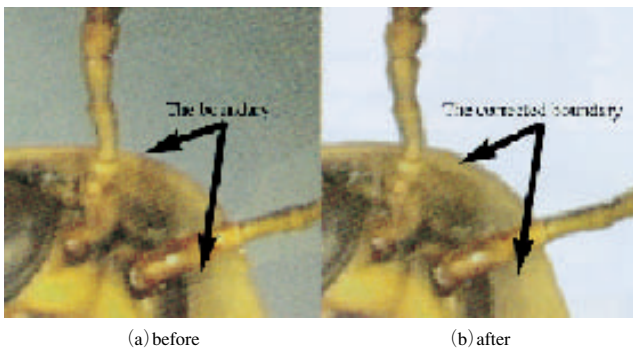


Fig. 10 The correction of a boundary by to how to average difference of a thickness. (a) before, (b) after.

博物館における昆虫資料

研究に際して、乾燥標本・液浸標本・プレパラート標本等を作成し、形態を観察する。これが、分類する上での第一歩である。博物館は、教育と研究の場であり、展示教育というまでもなく標本を通して行われる。標本の持つ教育的価値は、計り知れないほど大きなものがある。

昆虫標本作成において一般的な標本である乾燥標本では、原型を最もよく保存でき、取り扱いが最も容易である。通常標本は、背面から胸部へ昆虫針を刺し通したのであるが、種類によっては、腹面または、翅の下面を見る都合上、腹面から背面に刺し通して、逆向きの標本とする場合もある。昆虫の大きさに応じて色々な太さや長さの異なる昆虫針が用いられる。体に直接昆虫針を刺すことができない様な微小昆虫の場合、ケント紙を細長い三角形に切って、尖った先端に腹面を下にして糊付けし、その三角台紙に昆虫針を刺す。臍面を露出させておきたい小型のものは、先端を少し曲げて糊を付け、体側部を糊付けする。いずれの場合も昆虫を最上段に刺し、

次にデータラベルを刺す(森本桂ほか, 1994・馬場金太郎ほか, 1991)。

画像処理技術の昆虫資料へ応用

昆虫資料を写真撮影し、生じたばけを視覚的に認識する場合について考える。昆虫資料では、一般に体長が小さく、拡大するために接写する場合が多くなる。接写では、被写体全体に焦点を合わせることが困難となる。また、不確定要素として付着した塵埃の占める面積の割合も大きくなり、標本として固定する場合も、昆虫針の占める面積の割合が大きくなる。そのため、画像複元(篠原功治, 1998)を用いて、これらの塵埃・昆虫針の除去することは他の学術資料への応用に比べ、より有効であると考えられる。Fig. 11に昆虫針の除去を示す。

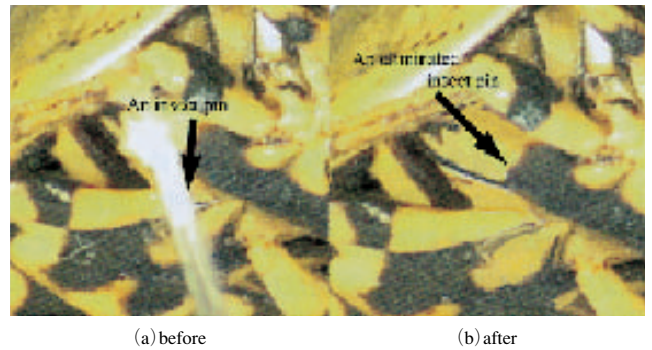


Fig. 11 The elimination of a insect pin from a material for the insect in the emage, (a) before, (b) after.

Table 1 に、作成した全焦点画像に使用した画像枚数等のデータを示す。Fig. 12~Fig. 21に解説と作成した全焦点画像を示す。

Table 1. The date of All-Focused Images (A size of an image is 3.67MB)

no.	scientific name	length (mm)	direction	taken picture	partial image	shutter speed	iris
1	<i>Phanaeus palaeno</i>	17	front	48	84	1/15	f11
2	<i>Eupholus sp.</i>	23	diagonal front	52	77	1/10	f13, f22, f27
3	<i>An obscurity</i>	16	front of top	39	39	1/15	f11
4	<i>An obscurity</i>	16	front of bottom	49	60	1/15	f16
5	<i>Cyclommatus elaphus</i>	83	front of top	38	62	1/15	f16
6	<i>Cyclommatus elaphus</i>	83	side	70	75	1/75	f22
7	<i>Phalacrognathus muelleri</i>	39	all	24	28	1/10	f8
8	<i>Phalacrognathus muelleri</i>	39	front of side	40	40	1/10	f11
9	<i>Rhaetulus didieri</i>	82	diagonal back	38	38	1/10	f32
10	<i>Rhaetulus didieri</i>	82	diagonal front	41	41	1/20	f22

考 察

1 博物館での利用とその効力について

Shepard.R.N.(1967)によれば、写真によって人間が1回の刺激提示から記憶保持しうる情報量は、単音節語5個以上であり、単語や文章に比べて記憶が保たれる率が優れることが実証されている。Goldstein.A.G.ら(1970)によれば、画像記憶は、言語媒体によって促進されず、等質の画像刺激を用いれば、画像再認は低下し、Nelson, T.O.ら(1974)により、画像の細部が画像をよりよく再認する決定因ではないと報告されている。これらの報告と筆者の見解をまとめると、画像がもたらす効果は、第一印象では、文字による解決よりも多くの情報を記憶させ、保持させる効果がある。さらに、同質の画像のみでは、その効果は、少なくなる。また、画像処理により、被写体の特徴のみを強調し情報量を減らした方が再認する率が高くなる。本研究で作成された全焦点画像は、現時点では作成に多くの時間を必要とする。しかし、ぼけを含まない画像であるため、通常、肉眼で実物資料を観察した場合に、網膜から脳の空間奥行視で認知する情報と異なる。(樋渡絹二, 1993)。この画像を、ぼけを含んだ画像の中に混合させることで新鮮な驚きを与え、画像再認を向上させ、画像によって、博物館利用者が昆虫に興味を持つ一手法となることが考えられる。

2 学術資料がもたらす教育的効果について

全焦点画像の作成において、撮影から画像処理に至るまでの過程で異なった視野から昆虫資料に接することができる。著者は、撮影時に被写体の位置を変更する作業に並行して、先に記した博物館における昆虫資料を学ぶことができ、幾何補正処理や濃度補正処理中は、平行して常に昆虫資料の接写のため拡大された画像をPower Macintosh G3で観察し、微細構造を観察できた。この観察は、実物資料をルーペや電子顕微鏡で拡大して観察することとは少し異なる。肉眼でルーペを通して観察する画像は、ぼけを含む上、作業は容易であるが、ルーペを持つ手と目が疲れる。電子顕微鏡の画像は、光学

系レンズでは不可能である微細構造の観察を克明に行うことができるが、2値画像である。作成した全焦点画像は、ぼけを含んでおらず、昆虫資料が人を魅了する重要な要因の1つではないかと考えられる色や光沢についても256階調以上の16万色で表現している。

このことより、全焦点画像の作成の全過程には、昆虫資料を通した学術資料がもたらす教育的効果がある。

3 フィルタH(ξ)の推定について

ズームの変更によって撮影されたぼけを含んだ画像と作成した全焦点画像から使用したレンズであるNikon AF NIKKOR 35-105mmのフィルタH(ξ)の推定をFig. 22に示す。

Fig. 22では、低濃淡領域と高濃淡領域のH(ξ)が大きく、ズーム35mmから105mmへの変化に伴い中濃淡領域の増加率が増幅している。このことより、低濃淡成分と高濃淡成分を遮断し、中濃淡成分を取り出す帯域フィルタの特性がある(画像電子学会, 1984)。ズームが増大するのに伴い低濃淡領域が低濃淡化している。これは、Fig. 5で示した明度低下現象に対応し明度を均等にする特性によるものではないかと考えられる。



(a) The image with dusts after the geometric correction.



(b) An All-Focused Image.

Fig. 12 The image of a front view of the insect which is *Phanaeus palaeno*. (a) explanation, (b) an All-Focused Image.
The brightness on green system which the insect owns severely changes for positions of lights and a radiance but does not change for an imadiance by lighting at upside in the naked eye. An elimination of dusts and a correction of gairs are effective. This All-Focused Image is constituted by 84's partial images which is the biggest number in results.

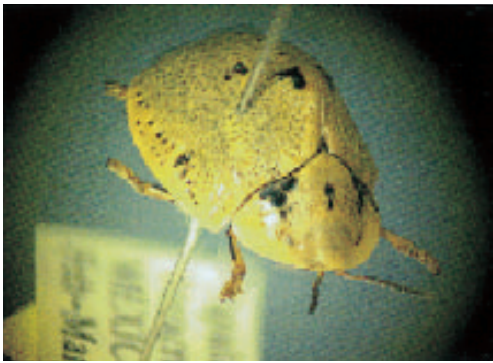


(a) The image before the correction of a thickness for all of one.



(b) An All-Focused Image.

Fig. 13 The image of a diagonal front view of the insect which is *Eupholus sp.* (a) explanation, (b) an All-Focused Image.
Though this insect is tried to take pictures changing the iris, it in the image can not get any colors of which it has the genuene article material, but is able to obtain approximate colors by a correction of thickness. The minuter structure of surface by magnifying is observed on Power Macintosh G 3.



(a) The image after the geometric correction.



(b) An All-Focused Image.

Fig. 14 The image of a front view of top of top of the insect which is an obscuriey. (a) explanation, (b) an All-Focused Image.
The rugged part of the upside is expressed by the change of contract. It is hard that an elimination of an insect pin holding the large area at the subject in the image.



(a) The damaged part of the genuine article material.



(b) An All-Focused Image.

Fig. 15 The image of a front view of bottom of the insect which is an obscuriey. (a) explanation, (b) an All-Focused Image.
An elimination of an insect pin in Fig.11 is as hard as Fig.14. As the damaged part of the genuine article material is found. it is repaired in the image.



(a) An insect pin in the image.

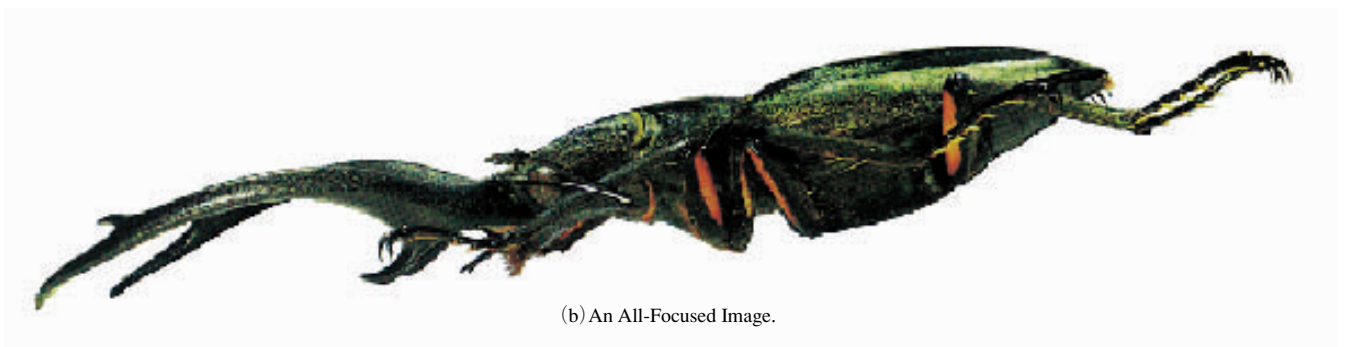


(b) An All-Focused Image.

Fig. 16 The image of a front view of top of the insect which es *Cyclommatus elaphus*, (a) explanation, (b) an All-Focused Image.
The brightness on green system which the insect owns changes nicely according to the varieties of positions of lights and a radiance from various kinds of directions. This image has used on a guede of the planning exhibition in 1999, which name is THE WONDERLAND OF INSECTS.



(a) The image under the geometric correction.



(b) An All-Focused Image.

Fig. 17 The image of a side view of the insect shich is *Cyclommatus elaphus*, (a) explanation, (b) an All-Focused Image.
70's pictures is the biggest number in results are taken. The different mathod on the geometric correction is used. after a subject is divided into four equal parts, the pictures are taken first. The four All-Focused Images are made next. They are corrected last. A size of an All-Focused Image is 41.5 MB which is the biggest copacity in reslts.



(a) An insect pin in the image.



(b) An All-Focused Image.

Fig. 18 The image of an all view of the insect which is *Phalacrognathus muelleri*, (a) explanation, (b) an All-Focused Image.

Because the insect in the image of Fig.7 can not get any colors of which it has the genuine article material, the pictures are taken by means of opening the iris and it is able to obtain approximate colors by the correction of a thickness.



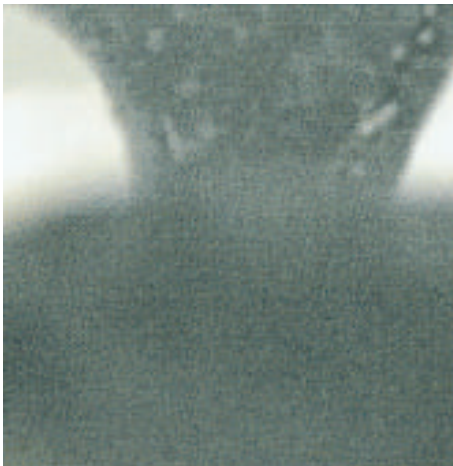
(a) The image before the correction of hairs.



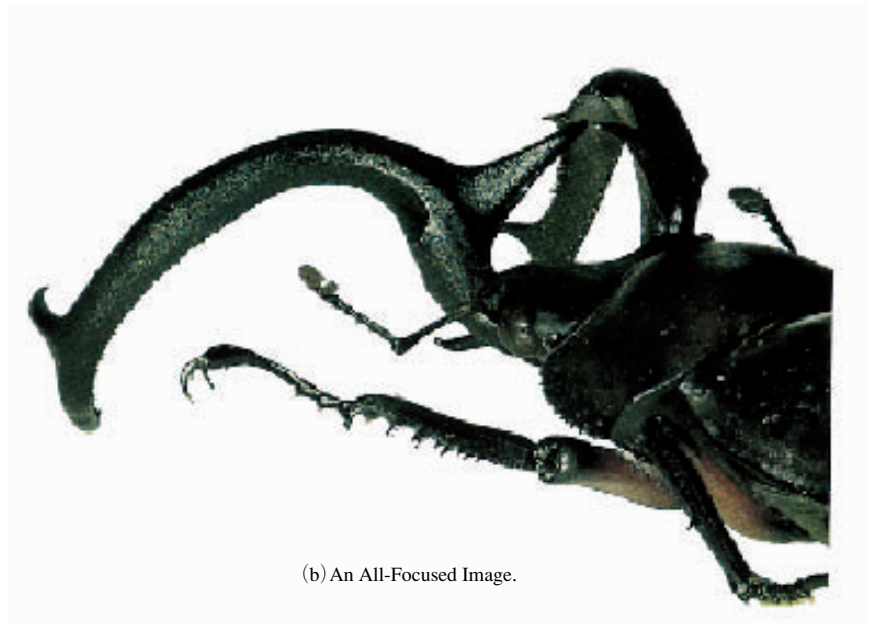
(b) An All-Focused Image.

Fig. 19 The image of a front view of side of the insect which is *Phalacrognathus muelleri*. (a) explanation, (b) an All-Focused Image.

The characteristic head is photographed. Many hairs of the surface are corrected. This image has used on a guide of the planning exhibition in 1999, which name is THE WONDERLAND OF INSECTS.



(a) The disorder of the brightness on the CCD.



(b) An All-Focused Image.

Fig. 20 The image of a view of diagonal back of the insect which is *Rhaetulus didieri*, (a) explanation, (b) an All-Focused Image. The characteristic mandible is photographed. The disorder of the brightness appear at partial images of the black on the CCD. This image has used on a guide of the planning exhibition in 1999, which name es THE WONDERLAND OF INSECTS.



(a) The image before the correction of thickness.



(b) An All-Focused Image.

Fig. 21 The image of a view of diagonal front of the insect which is *Rhaetulus didieri*, (a) explanation, (b) an All-Focused Image. After pictures are taken by intensifying a radiance the partial images of black and white are enhanced, for removing some of disorders of Fig.20 (a)

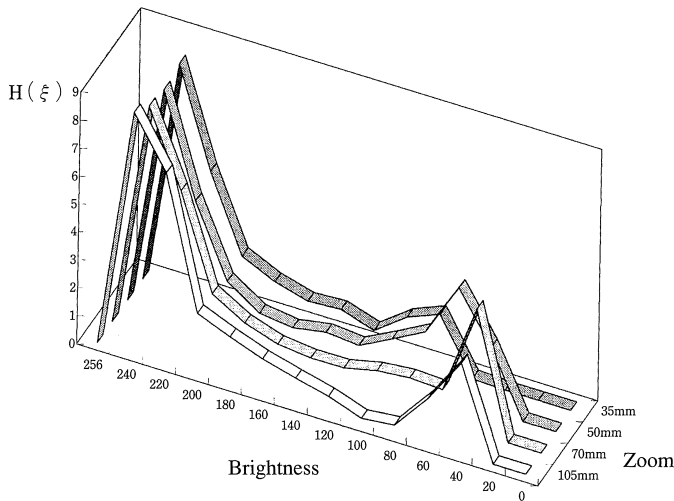


Fig. 22H(ξ) of lens estimated at a 35 mm,50 mm,70 mm,105 mm.

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、デジタルミュージアムについて御教示頂いた東京大学総合研究博物館 坂村健 教授、日立製作所 情報システム事業部 神内俊郎 試作開発センター長ならびに、昆虫資料撮影方法と昆虫標本作製方法について大変多くの御助言を頂いた愛媛県総合科学博物館 自然研究科 大西剛学芸員に深く感謝の意を表します。

引用文献

- 坂村健 (1996) : Ouroboros. 東京大学総合研究博物館, 東京.
- 児島和也・相澤清晴・羽鳥光俊 (1997) : 複数画面からの全焦点画像の再構成, 電子情報通信学会論文誌, 情報・システムⅡ・情報処理, VoL.J 80-D-Ⅱ NO.9. 電子情報通信学会情報・システムソサイエティー, 東京. 2298p-2307p.
- 小檜山賢二 (1997~1998) : 虫をめぐるデジタルな冒険, ナショナルジオグラフィック日本版1997年5月号~1998年6月号. 日経ナショナルジオグラフィック社, 東京.
- 小檜山賢二・デジタル・フォト・コラージュ
<http://www.wnn-x/kohiyama/index.html>
- 天野晃・浅田尚紀・馬場雅志 (1997) : ズームレンズの光学的ひずみの解析と補正・可変円筒モデルを用いた口径蝕現象の解析と画像周辺部明度低下の補正. 電子情報通信学会論文誌情報・システムⅡ-情報処理 VoL.J80-D-Ⅱ NO.6. 電子情報通信学会情報・システムソサイエティー, 東京. 1458p-1465p.
- 篠原功治 (1998) : 画像処理技術の学術資料への応用. 愛媛県総合科学博物館研究報告第3号. 愛媛県総合科

- 学博物館, 愛媛. 109p-114p.
- 高木幹雄・下田陽久 (1995) : 画像解析ハンドブック. 東京大学出版会, 東京. 423p-430p, 462p-467p.
- 平野邦彦・佐野桜太・宮道壽一 (1998) : 多段階露出画像の統合による画像のディテール強調. 電子情報通信学会論文誌情報・システムⅡ-情報処理 VoL.J80-D-Ⅱ NO.9. 電子情報通信学会情報・システムソサイエティー, 東京. 2097p-2103p.
- 森本桂・林長閑 (1994) : 原色日本甲虫図鑑 (Ⅰ). 保育社, 東京. 33p.
- 馬場金太郎・平嶋義宏 (1991) : 昆虫採集学 [第2版]. 九州大学出版会. 427p-439p, 528p-529p, 545p-552p, 555p-559p.
- Shepard, R.N. (1967) : Recognition memory for Words, sentence, and pictures. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior* 6. 156p-163p.
- Goldstein, A. G. & Chance, J. E. (1970) : Visual recognition memory for complex configurations *Perception & Psychophysics* 9. 237p-241p.
- Nelson, T. O., Metzler, J. & Reed, D. A. (1974) : Role of details in the long-term recognition of pictures and verbal descriptions. *Journal of Experimental Psychology* 102. 184p-186p.
- 樋渡絹二 (1993) : 画像工学ハンドブック. 朝倉書店. 東京. 30p.
- 画像電子学会 (1984) : 新版 画像電子ハンドブック, コロナ社, 東京. 34p.