

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01848

研究課題名(和文) 昆虫を対象とした高精度テクスチャを有する3Dモデル生成の自動化

研究課題名(英文) Automation System for Modelling 3D Data of Insects with High-Resolution Textures

研究代表者

田中 浩也 (TANAKA, Hiroya)

慶應義塾大学・環境情報学部(藤沢)・教授

研究者番号：00372574

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、微小昆虫を対象とした高精度テクスチャ付き3次元モデル構築法の実現を目指し、(課題A)既存技術の活用によるモデリングプロセスの確立と(課題B)高精度計測法の開発を並行して実施した。

具体的には、(A1)既存手法の活用による効率的なモデル構築工程を実現し、(A2)これを利用し昆虫モデルライブラリの構築した。さらに、(B1)多視点ブラケット撮影による高精度深度合成法、(B2)CTと深度合成写真によるモデリング手法の実現、(B3)(B2)を応用したホウセキゾウムシモデル群の構築を実施した。
(B1)については、成果を国際会議にて発表済みであり、現在(B2, B3)の成果発表を準備している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、複雑な形状と詳細なテクスチャを持つ微小昆虫のモデリングが比較的短時間でできる環境が整った。これに加えて、約100体の昆虫モデルライブラリの構築も達成できた。
研究成果であるモデリング手法および昆虫モデル群は、教育・学術・エンターテインメントなど多様な分野に寄与すると考えられる。また、本研究では複数のモデリング手法を実現したが、比較的小型の撮影装置のみでモデル構築を実現できるものもある。これは、一般家庭を含め幅広い場面での応用の可能性を持つ。さらに、提案手法によるモデル構築法や構築されたモデル群は、現在各所で開発の進んでいるカラー3Dプリンタの適用領域を大きく拡大させる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed methods for constructing 3D models of small insects with highly detailed shapes and textures. We have worked on two sub-problems in parallel: (A) developing an efficient modeling process by using existing technologies and (B) developing a novel measurement-based 3D modeling method for small insects. In (A), we have achieved to develop a modeling process by integrating consumer-grade cameras, a general purpose imaging stage, an X-ray CT (optional), and a commercial software. We then constructed 3D digital library with various 3D insect models. In (B), we have developed multi viewpoints focus bracketing to synthesize highly accurate focus stacking images, and a modeling method that integrates X-ray CT and focus stacking images. We also constructed multiple 3D weevil models by applying these methods.

研究分野：3Dモデリング

キーワード：昆虫 3Dデータ カラーテクスチャー CTスキャン デジタルアーカイブズ

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

我々研究グループは、自然物（草花や昆虫）を計測し、テクスチャを有する3次元モデルを再構築するための技術開発を推進してきた。研究開始時点において、深度合成写真による詳細なテクスチャ復元や、X線CTと写真の組み合わせによる正確な形状復元法を実現していた。しかし、これらのモデリング手法は、多大な手作業を必要とするもので、制作時間短縮が課題であった。また、数ミリ～数センチの小型昆虫に対しては、復元できる形状やテクスチャの精度が十分なものではなかった。

2. 研究の目的

本研究は、数ミリ～数センチの小型昆虫を対象とし、これを計測し高精度なテクスチャ付3次元モデルとして再構築できる効率的なモデリング工程の実現を目指すものである。具体的には、極力作業者負担を削減したモデリング工程、および、小型昆虫のための高精度なモデリング手法に関する研究開発を実施する。

3. 研究の方法

本研究では、以下二つのサブ課題を並行して実施する。

- 課題A: 既存技術を活用した効率的なモデリング工程の構築
- 課題B: 小型昆虫モデリングのための新たな撮影手法・画像処理手法の開発

まず『課題A』を実施することで、研究期間内に効率的なモデリング工程を確立し、これを利用してモデル群の構築が行なえる。また、並行して『課題B』を実施することで、既存手法のみを利用する課題Aが将来的に直面する効率・精度に関する問題に対応できる。本研究で開発するソフトウェアは原則オープンソースソフトウェアとして広く公開する。また、開発成果により生成される昆虫3次元モデル群も多様な型式で公開する。

4. 研究成果

前述の通り、本研究では2件の課題に並行して取り組んだ。それぞれの課題に関する成果を節4.1、4.2にて述べた後、提案手法によるモデリング成果を節4.3にて紹介する。

4.1. 既存技術の活用による効率的な3次元モデリング工程の構築

4.1.1. 自動写真撮影環境の構築

小型昆虫のモデリングには、周囲360度から撮影した写真群が必要である。さらに本研究で対象とする小型昆虫の詳細なテクスチャを復元するには、各視点においてフォーカスを変化させながら数十枚の写真を撮影（フォーカスブラケット撮影）し、得られた写真スタックから全領域にピントのあった写真を合成（深度合成）する必要がある。

撮影工程自動化のため、我々は、撮影ステージ（図1）を構築した。このステージでは、昆虫を中央の回転台（StackShot）に固定し、ステージ前面に置かれたカメラ（Olympus EM1）により撮影を行なう。ステージには最大3台のカメラを配置でき、一度に異なる角度からの撮影が可能である。回転および撮影は全自動化されており、例えば、一周36視点、カメラ2台、一視点あたり40枚のフォーカスブラケット撮影を10分程度で遂行できる。

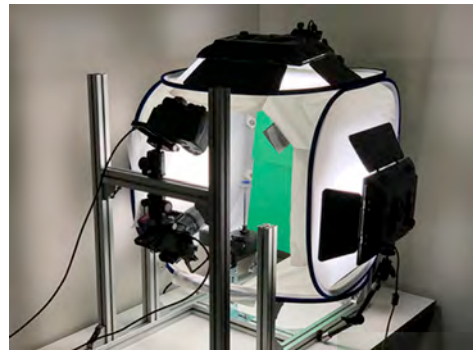


図1. 撮影ステージ。

4.1.2 モデリング工程の自動化

モデリング工程を図2に示す。①まず撮影を行なう。昆虫を回転台上に固定し、回転台を一定間隔で回転させ、各視点においてフォーカスブラケット撮影を実施する。このとき、カメラはOlympus Captureにより、回転台はStackShotにより制御する。②次に深度合成処理を行う。この処理には商用ソフトウェアHelicon Focusを利用したが、我々が開発した高精度深度合成法[2]による置き換えを計画している。続いて、③深度合成写真にMask処理を施し、④Mask処理した深度合成写真に対しStructure from Motion (SfM)を適用し3次元モデルを得る。Mask処理にはPhotoshopを、深度合成にはPhotoScanを利用した。

①撮影から②深度合成は完全に自動化されており、昆虫標本の固定後は作業者の負担無く処理が進む。また、③Mask処理と④SfMについても、データ準備とソフトウェアの起動をすれば自動的に処理が行なわれる。例えば、カメラ1台、回転ステップ10度（36視点）による撮影をした場合、全工程を2時間程度（撮影：約10分、深度合成：約20分、Mask処理約1分、SfM30分、モデル準備やデータ移動：約60分）で遂行できる。

これまでの我々の手法に比べ、このモデリング工程により大幅な時間短縮が実現できた。最も効果的だったのはフォーカスブラケット撮影の採用である。これまで利用していたカメラを物理的に前後移動する撮影法でなく、物理移動を伴わないフォーカスブラケット撮影を採用することで、1/10 程度の撮影時間短縮を実現した。フォーカスブラケット撮影機能は以前より存在していたが、そのまま我々の撮影工程に組み込めるものではなかった。今回、外部よりこの機能を制御することで、標本回転とフォーカスブラケット撮影という一連の流れを自動化した。

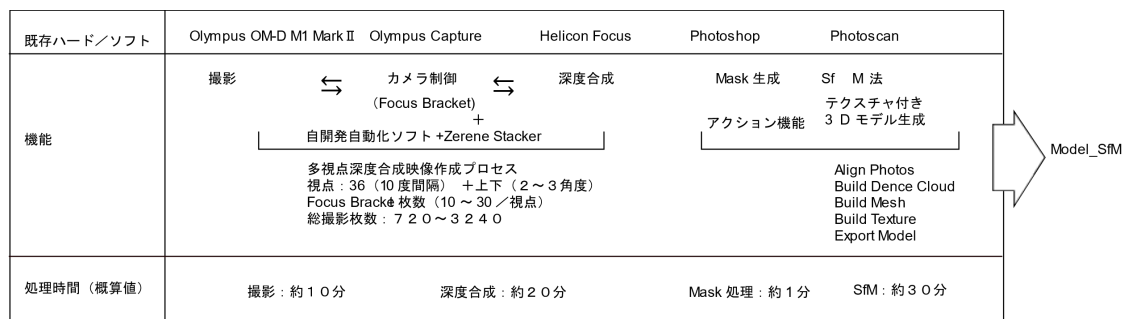


図 2. 自動化したモデリング工程とモデリング結果。

4.2. 小型昆虫モデリングのための新たな撮影手法・画像処理手法の開発

4.2.1. X線 CT 画像処理ソフトウェアの開発

計測に基づく物体の3次元再構築には、SfMを適用するのが一般的である。しかし、小型昆虫にSfMを適用すると触覚や肢などの細い形状が途切れてしまうという精度上の課題がある。そこで我々は、マイクロ X線 CT を利用して高精度に小型昆虫の形状構築を行なえる手法を提案した(4.2.3 節参照)。

この X線 CT を利用したモデリングでは、3次元画像の領域分割が必要不可欠である。そこで我々は、研究期間開始以前から開発を進めていた3次元画像処理ソフトウェア RoiPainter3D を高機能化し、領域分割作業の効率化を計った(図 3a)。RoiPainter3D を利用すると、単純なサンプルなら約 5 分、複雑なサンプルでも約 30 分で画像領域分割とモデリングが行なえる。RoiPainter3D は、オープンソースソフトウェアとして公開されている[9]。

昆虫 CT 画像処理のため、我々は形状くびれ情報を利用した意味的領域分割法を提案した[1, 5]。この手法により、昆虫モデルの体と肢の分割や(図 3b)、昆虫標本内部の中空領域の分割などが可能になる(図 3c)。また、CT 画像処理の長期的な将来の可能性を探るため、4次元 CT 計測に関する研究を実施した[6]。この研究では、動きが遅い植物の発芽に着目し、CT 撮影を約 2 週間繰り返すことで、発芽の様子を4次元画像として取得できることを示した。

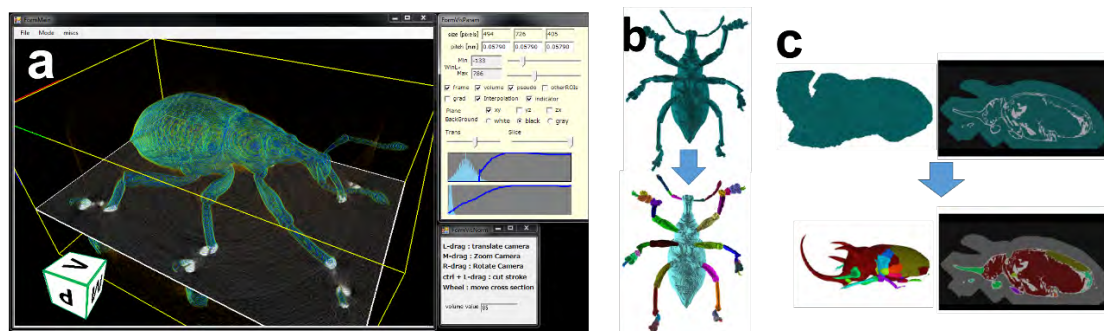


図 3. RoiPainter3D のスクリーンショット (a), および、くびれを利用した意味的領域分割法 (b, c). 画像 (b, c) は [1] より。

4.2.2 多視点ブラケット撮影による深度合成

フォーカスブラケット撮影とは、焦点を変化させながら複数の写真を撮影する撮影法のことである。また、深度合成とは、フォーカスブラケット撮影により得られた写真スタックから、全領域に焦点が合った一枚の画像を合成する技術である。本研究が対象とする昆虫のような小さな被写体の詳細なテクスチャを取得するには、この深度合成が必要不可欠となる。

既存の深度合成手法は、写真スタックから最も鮮鋭度の高い画素を選択する『最鮮鋭画素選択法』と、写真スタックをラプラシアンピラミッド分解し最大輝度値投影した後に逆ピラミッド変換を行なう『ピラミッド法』に分けられる。しかし、最鮮鋭画素選択法はエッジ付近で選択エラーがおきやすく(図 4b)、ピラミッド法はエッジ付近でハローアーティファクトがおきやすい(図 4c)という問題がある。

そこで我々は、複数視点からフォーカスブラケット撮影を実施する高精度深度合成法を提案した[2]。この方法では、まず、多視点写真にステレオ視を適用して深度画像を取得し、この深度画像を手がかりにピントのあった画素検索を行なう。この手法では、既存手法に比べて正確な画素選択を行なえるため、より高精度な深度合成が実現できる(図 4a)。

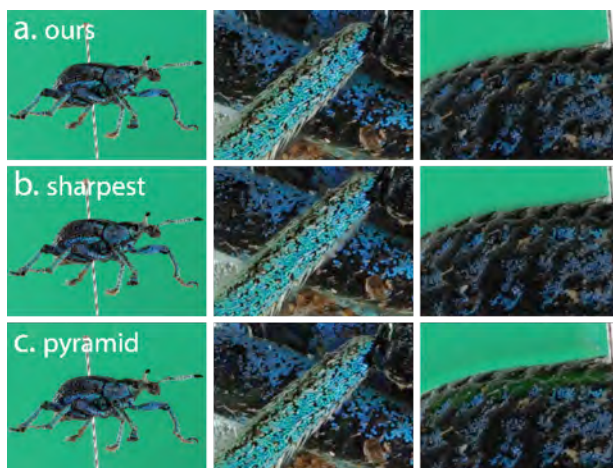


図 4. 多視点ブラケット撮影による深度合成[2]. 提案法(a), 最鮮鋭画素選択法(b), ピラミッド法(c)による深度合成結果. 図は[2]より.

4.2.3 深度合成写真と X 線 CT を統合したモデリング手法の開発

前述の通り、小型昆虫の SfM による形状復元には精度上の限界がある。そこで、我々は、X 線 CT と深度合成写真を統合した手法を提案した[4]。図 5 にモデリングの流れを示す。まず、昆虫標本を土台に固定し(a)、X 線 CT 撮影し得られた画像を領域分割することで 3 次元モデルを取得する(b)。また、複数視点からブラケット撮影を実施し深度合成写真を取得する(c)。最後に、写真のシルエット情報を利用することで、写真と 3 次元モデルとの位置あわせを行い、写真からテクスチャ情報を抽出する(d)。これにより詳細なテクスチャと形状を復元できる。

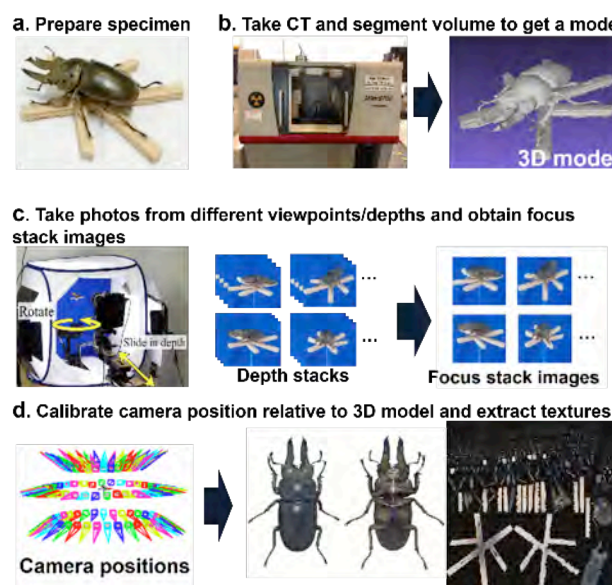


図 5. 深度合成写真と X 線 CT を統合したモデリング手法. 図は[4]より.

4.3 モデル公開

4.1 節に紹介した自動モデリングシステムを用いて既に 100 以上の昆虫 3 次元モデルを生成済みであり(図 6)、様々なエキシビションにてこのモデル群の公開を行なってきた。

例えば、2018 年の国立博物館特別展「昆虫」では、大スクリーンに昆虫モデルを表示するものと対話的に昆虫観察できるシステムを制作し、40 万人以上の観客がこれらを鑑賞操作した[7]。また、2019 年の 21_21 DESIGN SIGHT での虫展でも一部の 3 次元モデルの映像を展示した[8]。他にも、裸眼立体視ディスプレイを用いた昆虫モデルの新たな観察システムの構築なども実施した[3]。



図6. 昆虫3次元モデルライブラリ.

<引用文献>

[雑誌論文] 1件

[1] 成田智史, 井尻 敬. 最小切断面を利用した 2 値画像の意味的領域分割. 画像電子学会誌, 第 47 巻, 第 4 号. 通巻 246 号, pp. 433-439, 2018 年 10 月. (査読有り)

[学会発表] 5件

[2] Y. Qiu, D. Inagaki, K. Kohiyama, H. Tanaka, T. Ijiri. Focus stacking by multi-viewpoint focus bracketing. SIGGRAPH ASIA 2019, posters, Brisbane Australia 17 November 2019. (査読有り)

[3] D. Inagaki, Y. Qiu, R. Egawa, T. Ijiri. Pop-up digital tabletop: seamless integration of 2D and 3D visualizations in a tabletop environment. SIGGRAPH ASIA 2019, posters, Brisbane Australia, November 2019. (査読有り)

[4] W. Ono, H. Shionozaki, T. Ijiri, K. Kohiyama, H. Tanaka. Shape and texture reconstruction for insects by using X-ray CT and focus stack imaging. SIGGRAPH ASIA 2018, posters, Tokyo Japan, December 2018. (査読有り)

[5] 成田智史, 井尻敬. 最小切断面を利用した 2 値画像の意味的領域分割. 第 26 回 Visual Computing (VC 2018), テルサ山形, 2018 年 6 月 27 日-29 日. (査読有り, この発表を経て [1]の採録へ至った)

[6] S. Kato, T. Narita, C. Tomiyama, T. Ijiri, H. Tanaka. 4D computed tomography measurement for growing plant animation, SIGGRAPH Asia 2017, posters, Bangkok Thailand, November, 2017. (査読有り)

[展示, その他] 3件

[7] 小檜山賢二, 井尻敬, 小野涉, 塩野崎光, 田中浩也. 3次元デジタル昆虫図鑑. 特別展「昆虫」, 国立科学博物館, 2018年7月13日~10月8日.

[8] 小檜山賢二. 「虫展 - デザインのお手本」, 21_21 DESIGN SIGHT, 2019年7月19日~11月4日.

[9] 井尻敬, RoiPainter3D, takashiijiri.com/SoftRoiPainter3D, 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 成田智史, 井尻 敬	4. 巻 第47巻
2. 論文標題 最小切断面を利用した2値画像の意味的領域分割	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 画像電子学会誌	6. 最初と最後の頁 433-439
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Y. Qiu, D. Inagaki, K. Kohiyama, H. Tanaka, T. Ijiri
2. 発表標題 Focus stacking by multi-viewpoint focus bracketing
3. 学会等名 SIGGRAPH ASIA 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Inagaki, Y. Qiu, R. Egawa, T. Ijiri
2. 発表標題 Pop-up digital tabletop: seamless integration of 2D and 3D visualizations in a tabletop environment
3. 学会等名 SIGGRAPH ASIA 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 W. Ono, H. Shionozaki, T. Ijiri, K. Kohiyama, H. Tanaka
2. 発表標題 Shape and texture reconstruction for insects by using X-ray CT and focus stack imaging
3. 学会等名 SIGGRAPH ASIA 2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 成田智史, 井尻敬
2. 発表標題 最小切断面を利用した2値画像の意味的領域分割
3. 学会等名 第26回 Visual Computing (VC 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Kato, T. Narita, C. Tomiyama, T. Ijiri, H. Tanaka
2. 発表標題 4D computed tomography measurement for growing plant animation
3. 学会等名 SIGGRAPH Asia 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>小檜山賢二, 井尻敬, 小野涉, 塩野崎光, 田中浩也. 3次元デジタル昆虫図鑑. 特別展「昆虫」, 国立科学博物館, 2018年7月13日~10月8日. 小檜山賢二. 「虫展 - デザインのお手本」, 21_21 DESIGN SIGHT, 2019年7月19日~11月4日. 井尻敬, RoiPainter3D, takashijiri.com/SoftRoiPainter3D, 2020.</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小檜山 賢二 (KOHYAMA Kenji) (00306888)	慶應義塾大学・政策・メディア研究科(藤沢)・名誉教授 (32612)	

