

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12656

研究課題名（和文）インビジブルビューティー：実時間で見えない自然の美を3次元化する

研究課題名（英文）Invisible Beauty: 3D Visualization of Beauty in Nature That Is Invisible in Real Time

研究代表者

土佐 尚子（Tosa, Naoko）

京都大学・総合生存学館・特定教授

研究者番号：40521117

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：(1) 高速度物理現象の3Dモデル化、(2) 3Dモデルの固体化、(3)彩色法、(4)成果の活用、の研究を行ない以下の結果を得た。

(1)6台の高速度カメラを生起現象の周囲に設置・撮影するシステムを構築し、複数方向から現象を観測したビデオ映像を得た。この映像から対応する画像を取り出し、位相限定相関法によって対応する点群を生成し、3Dモデルを得た、(2) 同モデルを用いて3Dプリンターを用いて流体现象の3D形状を復元した、(3)色彩の再現が可能であることを確認した、(4)別テーマで共同研究を行っている企業と共に本成果の活用法を検討しており、同時に本成果を2025大阪万博で展示する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義：本研究は、短時間に生起する物理現象を捉える研究と、複数視点画像から3次元モデルを復元する研究を統合した研究である。短時間に生起する物理現象を複数の高速度カメラを用いて撮影し、これに複数視点画像から3Dモデルを復元する手法を適用して3Dモデルの生成に成功した。これは学術的には最初の試みである。

社会的意義：本研究によって、微小時間に生起し有機的な形状を生成する流体现象の3D化が可能となった。パブリックアートや日用品・車などのデザイン、さらには建築物の設計などに応用可能であり、複数の企業と応用の可能性を検討している。また本成果は2025大阪万博で展示し内外にアピールする予定である。

研究成果の概要（英文）：We conducted research on (1) 3D modeling of high-velocity physical phenomena, (2) solidification of obtained 3D models, (3) coloring method of the obtained 3D models, and (4) utilization of results. We obtained the following results.

(1) We constructed a system to install and shoot the phenomenon using 6 high-speed cameras, and obtained video images of the phenomenon observed from multiple directions. The corresponding images were taken out from the video image. Then the corresponding point cloud was generated using the phase-limited correlation method, and a 3D model was obtained. (2) The 3D shape of the fluid phenomenon was restored using the obtained model using a 3D printer. (3) We confirmed that color reproduction is possible, (4) We are considering how to utilize this result with a company conducting joint research on another theme. At the same time, we will exhibit this result at the 2025 Osaka Expo.

研究分野：アート&テクノロジー

キーワード：流体现象 有機的形狀 高速度カメラ 位相限定相関法 3次元モデル化 3次元形状化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我々の身の回りには、パブリックアート、皿やコップのような日用品、車や航空機、さらには建築物などの 3 次元の造形物が存在している。これらの造形物は、これまではそれぞれの分野において、アーティスト・デザイナー・技術者・建築士などが対象に応じて適切な形状を作り出して来た。それらの形状は、アーティスト・デザイナーの感性と創造力、空力抵抗を低減させるデザイン、街並みに合致した建築デザイン、などに基づいて作り出された。これらはいずれも人が作り出した形状であり、直線や単純な曲線を基本としており、無機的・人工的な印象を与えがちであった。しかしながら、文化の成熟度が増した高齢化社会が到来すると共に、人工的な形状だけではなく、自然が持つ有機的で多様性に富んだ造形を我々の身の回りのものや工業製品に取り入れることが社会から求められると考えられる。そのような要求に応える事は今後の大きな課題である。

2. 研究の目的

自然が持つ有機的・多様な形状を我々の身の回りの造形に導入するという社会的な要望は今後強くなると考えられる。そのような要望に応えるための一つの方法が、最新技術を用いて物理的世界とコンピュータを結び、我々の目に見えない微小時間に生じる物理現象を可視化し 3D 造形として活用することであり、そのための方法論の確立とその応用が本研究のめざすところである。これまで、微小時間における物理現象を高速度カメラでとらえる試みは数多く行われて来たが(例えば風船の破裂、弾丸による物体の破壊など)、いずれも物理現象の観察にとどまっており、それを 3D 造形に活用しようとする発想はなかった。

研究代表者は絵具などの粘性を持った液体に音の振動を与え、その様子を 2000 フレーム/秒の高速度カメラで撮影することにより、微小時間に美しい形状が作り出されることを見出し、「サウンドオブ生け花」というビデオアートを制作するとともに、このようなアート制作手法を「流体アート」と名付けることとした。本研究はその手法をビデオアート制作手法としてだけでなく、パブリックアート、身の回りの日用品や工業製品、さらには建築物の造形デザインに応用することをめざしたものであり、従来なかった極めて独創性に富んだものである。

以下具体的に、研究の方法、研究成果について述べる。

3. 研究の方法

流体アートの 3 次元モデルの生成

研究代表者である土佐が制作した流体アート「サウンドオブ生け花」は、「日本的である」「日本美が表現されている」などの評価を受けている。これがどのような理由に基づくものかを探求することにより、美とは何か、日本美とは何かという本質的な問題が明らかになると考えられる。この研究の一環として、現在は映像として得られているサウンドオブ生け花を 3 次元の物体として物体化することにより、その形状を種々の方向から見ることによって検討したり、また 3 次元アートとして種々の場でアート展示することによってアート関係者を含め多くの人から感想・コメントなどをもらうことが考えられる。このような考え方の元にサウンドオブ生花の形状の 3 次元復元を行うとともに、3D プリンタを使って 3 次元の物体化を行うこととした。ここでは 3 次元復元の方法とその結果について述べる。

3 次元復元に関しては受動的な方法と能動的な方法があるため、そのいずれを採用するかが問題となる。2000 フレーム/秒の高速度カメラを用いて初めて見えてくる造形であるため、極めて高速で動く物体の 3 次元復元ということになる。高速の動物体の能動的な方法による 3 次元復元に関しては、1000 フレーム/秒という高速のプロジェクターと高速のビデオカメラを用いた方法が最近提案されている[22]。しかしながら、1000 フレーム/秒のプロジェクターは現時点では量産

品としては市販されておらず、また解像度も十分ではない。さらにはサウンドオブ生け花の現象が生じるのはほぼ 10cm³ という小さな領域であり、そのような小さい領域に正確にプロジェクションすることは困難であると考えられる。

一方受動的手法を用いる場合には、複数台のスチルカメラを用いる手法と複数台の高速度のビデオカメラを用いる手法がある。複数台のスチルカメラを用いて同期撮影を行う手法は比較的安価に撮影システムを組むことができるが、シャッターを押すタイミングが問題となる。サウンドオブ生け花における造形は、2000 フレーム/秒の高速度カメラで撮影することにより始めて見えてくる造形であると同時に、その中でもビデオ作品として用いることのできる時間は極めて限られており、撮影された多数のビデオクリップを見ることによって始めて選定できる。さらに 3 次元造形として物体化する場合には、選ばれたビデオの中でも 3 次元化した場合の美しさや物体化した場合の保存性を考慮すると、選定できる瞬間は極めて限られる。それをいわば勘に基づいてシャッターを押すことによって撮影するのは極めて困難な作業であると考えられる。

4. 研究成果 カメラセッティング

図 1 に撮影のためのセッティングの平面図を示す。また図 2 には実際のセッティングの様子を示す。用いる高速度カメラシステムはナック社製の MEMRECAM というハイスピードマルチカメラシステムである。カメラ部分 (Mcam V004) は 2M ピクセル、2000 フレーム/秒の撮影速度をもっている。それを 6 台～8 台現象が生じるスピーカーの周囲に設置して撮影を行った。最終的には周囲 360 度から撮影し完全な 3 次元復元を行う予定であるが、極めて多くの高速度カメラを必要とするため、まずは 6 台～8 台の高速度カメラを用いることとし、それをスピーカーを約 120 度～180 度で囲むように配置した。

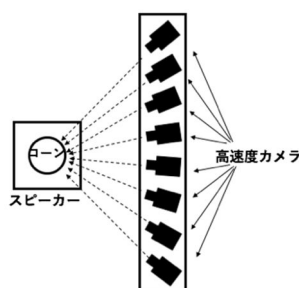


図 1 8 台の高速度カメラと流体アート制作システムを用いた撮影システム

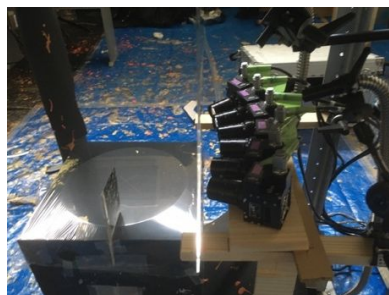


図 2 実際のセッティングの様子 (側面図)

位相限定相関法による 3 次元形状復元

2 次元からの 3 次元形状復元の方法として受動的方法を採用する。ここでは従来の方法に比較

して新しい方法として、東北大学、凸版が研究開発を行ってきた位相限定相関法を用いることとする。ここではその方法について簡単に述べる。

受動的な方法による3次元形状復元は(1)画像マッチングを用いた3次元点の推定、(2)3次元点群からの3次元モデル生成といった処理で構成される。これらの処理の中で、3次元点を推定するための画像マッチング手法は、多視点ステレオアルゴリズム全体の精度の、ロバスト性、計算コストに大きく影響し、アルゴリズムの性能を決定する重要な要素である。

従来の多視点ステレオアルゴリズムでは、正規化相互相関 (Normalized Cross-Correlation: NCC) に基づく画像マッチングが用いられている。これらのアルゴリズムでは、3次元点の座標を離散的に変化させながら繰り返し画像マッチングを行い、最もマッチングスコアの高くなる3次元座標を復元点とする。この時高精度な3次元復元を行うためには、非常に細かい刻み幅で座標を変化させる必要があり、計算コストが膨大になるという問題がある。

それに対して位相限定相関法 (Phase-Only Correlation: POC) は画像の位相情報のみを用いた画像マッチング手法である。2つの画像をフーリエ変換し、それぞれの移送スペクトルからPOC関数を計算する。2つの画像間の変形が平行移動のみの場合、POC関数の理想的なピークモデルを定義することが可能である。この時、POC関数のピークの高さは画像間の類似度に、POC関数のピーク座標は画像間の平行移動領に相当する。POCを多視点ステレオに適用する場合、1枚の参照視点とk枚の近傍視点からk組のステレオペアを作り、それぞれのステレオ画像間の局所的なウィンドウマッチングにPOCを用いる。

POCの大きな特徴は、従来の方法がいずれも事前にカメラキャリブレーションを必要としていたのに対してそれを必要としない点にある。すでに位相限定相関法は凸版印刷において「TORESYS 3D™」という名前でソフトウェア化・商品化されており、今回の実験ではそのソフトウェアを用いて3次元復元を行った。通常の主として凸型面から構成される物体は比較的容易に3次元復元を行うことができるが、今回のサウンドオブ生け花は極めて有機的で複雑な形状をしており、単純には3次元復元を行うことは困難であった。具体的には以下のような問題とその対処法を取ることが必要であった。

1) 2→4→8台と台数を増加させることで、精度の向上を確認した。

カメラの設置レイアウトでは、カメラの設置幅を最小限にして復元精度を上げた(しかしながら、全体の復元を行うにはより多くのカメラが必要になってしまう)用いた復元ソフトにおいて、復元対象範囲を細かく処理するパラメータをチューニングをして、3D形状を復元しやすくした。

2) 金色の塗料を用いると、塗料の素材が模様(ざらつき)のように表面に現れるため、復元が良好な結果が得られる。かつ、画像の白トビを軽減させるため、照明にトレーシングペーパーをかぶせて光を拡散させた。

3) 被写体の全面にピントが合うような画像が得られた場合に復元結果が良好となるが、安定して良好な結果が出せてはいない。カメラのしぼりの調整(被写界深度を深くする)、照明の強さの調整の検討を要する。

これらの対処を行なった結果得られた「サウンドオブ生け花」の3次元モデルを図3に示す。また図4にはそのメッシュモデルを示す。

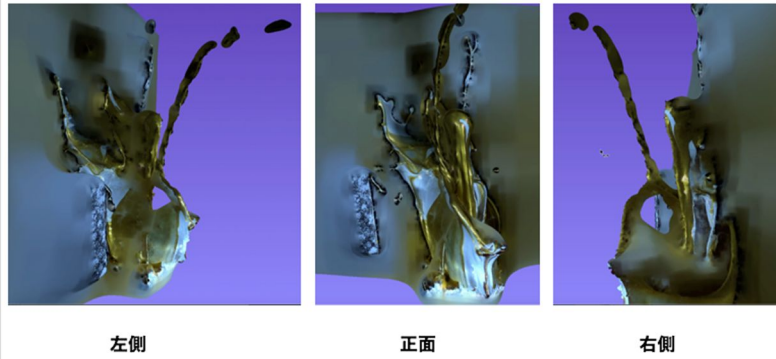


図3 得られた「サウンドオブ生け花」の3次元モデル

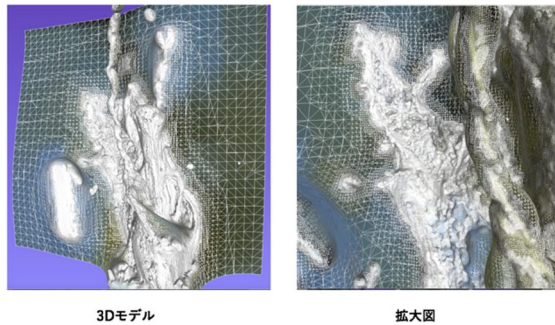


図4 「サウンドオブ生け花」の3次元モデルのメッシュパターン

流体アートの3次元実体化

図3、4に示した3Dモデルを用いて3Dプリンターによってサウンドオブ生け花の3次元実体化を試みた。3Dプリンターとしては、フィギュアやミニチュア制作に用いられる業務用3Dプリンター(3DUJ-553)を用いた。本プリンターは色彩に関してもフルカラーが再現可能である特徴を持っている。得られた3D形状を図5に示す。

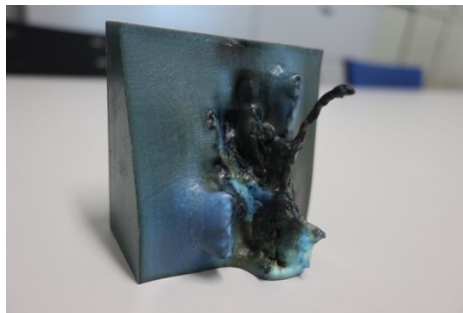


図5 3次元プリンタで出力されたサウンドオブ生け花

3次元の形状がある程度正確に再現されていることがわかる。サウンドオブ生け花の形状は極めて有機的であり細く伸びた柱状の部分がいくつも形成されているが、それを1度に3Dプリンターで再現することは困難であることがわかった。そこで3Dモデルをいくつかの部分に分け、それを個別の部品として3Dプリンターで作り出し、組み合わせることによって図5の3D形状を作り出すことができた。今回は複数の部分に分ける作業は手作業で行い、何度かのやり直しを必要としたが、今後さらに複雑な形状を3Dプリンターで造形する際には全体の3Dモデルをどのように分割するかは重要な課題であると考えられる。

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 0件）

1. 著者名 Naoko Tosa, Pan Yunian, Ryohei Nakatsu, Akihiro Yamada, Takashi Suzuki, Kazuya Yamamoto	4. 巻 LNCS 12523
2. 論文標題 3D Modeling and 3D Materialization of Fluid Art That Occurs in Very Short Time	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Entertainment Computing - ICEC 2020	6. 最初と最後の頁 409 - 421
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18174/icec2020.18003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------