

パラボリックフライトによる微小重力下における流体アートの生成 Generation of Fluid Art under Microgravity Using Parabolic Flight

鳥羽重孝[†] Pang Yunian[†] 山田晃弘[‡] 鈴木高志[‡] 土佐尚子[†] 中津良平[†]
Shigetaka Toba Pang Yunian Akihiro Yamada Takashi Suzuki Naoko Tosa Ryohei Nakatsu

1. はじめに

最近宇宙に関する話題が多くなっている。2021 年 2 月の NASA による火星への無人探査機の着陸[1]、同年 7 月のヴァージン・ギャラクティック社のリチャード・ブランソン氏とアマゾンのジェフ・ベゾス氏による約 10km の宇宙空間への飛行、同年 9 月のスペース X 社の宇宙船クルードラゴンによる民間人 4 名による 4 日間の地球周回軌道への飛行[2]など、立て続けに宇宙旅行特に民間人を乗せた宇宙旅行が行われており、宇宙旅行が私たちにとって身近なものとなりつつあることを実感させてくれる。

アートは古い時代から人間の精神性と深く結びついたのであり、それが宇宙時代にどのようなものになるかは重要かつ興味深いテーマである。宇宙時代にはアートと私たちの付き合い方はどうなるのか、また宇宙時代に合致したアートが生まれるのかなどは今のうちに考えておく必要のあるテーマである[3]。

筆者らは宇宙旅行に特有の無重力もしくは微小重力という環境でアートがどのようなものになるのかに興味を持っている。筆者らは流体を用いたアートである流体アート[4][5]の制作を行ってきたが、流体の振る舞いは無重力では重力下とは大きく異なるため、無重力環境下における流体アートの研究を行う必要があると考えている。

本論文では筆者らが無重力下で行っている流体アートの制作の考え方を述べるとともに、その具体的な実現手段としてパラボリックフライトと呼ばれる特殊な飛行によって実現される微小重力環境下で、流体アート制作を行った過程と制作されたアートについて述べる。

2. 関連研究

宇宙時代を睨んだアート生成は興味深いテーマであり、米国や日本を中心に複数のプロジェクトが行われている。米国の MIT Media Lab では“Space exploration Initiative”という名前のプロジェクトを立ち上げ、無重力下でのさまざまな実験を行おうとしている[6]。

日本では、JAXA（宇宙航空研究開発機構）は ISS に「きぼう」と呼ばれる日本実験等を有しており、それを利用して科学分野の実験だけではなく、芸術表現などを通して驚きや感動を発見することを目的とした実験を行っている。2008 年から 2011 年にかけては第 1 期のテーマの募集と実施が行われ「きぼう」においてアートに関わる 9 つの実験が行われた[7]。また 2011 年から 2013 年にかけては第 2 期の 8 種のテーマの実施が行われた[8]。

これらの研究は宇宙時代のアートのあり方の先駆的研究としての意義は大きい、アーティストが自ら無重力下で

アート生成を試みるものではなく、無重力下の物体の軌跡を自動的に記録したり、宇宙飛行士にアート生成を代行してもらったりしたものである。したがって、アーティストが自ら宇宙時代のアートのあり方を主導して研究するという立場からすると、まだ初期の段階にある。

これに対して筆者らのプロジェクトでは、アーティストが自ら微小重力下でのアート生成の試みを行っている点に最大の特徴がある。

3. 流体アート「サウンドオブ生け花」

3.1 流体アート

流体の振る舞いは自然現象の大きな部分を占めている。水の流れ、波の振る舞い、海流などはその典型例である[9]。また流体は「ミルククラウン」などの美しい形状を作り出すことができることが知られている。美しさはアートの基本的な要素であるため、アート制作の基本的な方法論として流体力学を利用するのは自然なことである。

著者の一人である土佐尚子は、流体の振る舞いを高速度カメラで撮影することで「流体アート」[4][5]を生み出すプロジェクトを主導してきた。高速度カメラは、これまで物質の爆発のように非常に短時間で発生する様々な現象の撮影に使用されてきたが、その用途の大半は科学技術の実験におけるものである。一方土佐らは、流体が様々な美しい有機的な造形を生成することに関心を持った。そして絵の具などの流体に音の振動を与えて、流体で生け花のような形状を作成することができることを見出した。図 1 は生成システムである。スピーカーを上向けにおき、上に薄いゴム膜を張り、ゴム膜上に絵の具などの流体を置いて、スピーカーをサウンドで振動させると、絵の具が飛び上がり種々の造形を作り、その様子を高速度カメラで撮影する。ここでは 2000 フレーム/秒の高速度カメラを用いている。スピーカーに接続された PC で種々のサウンドを生成し、スピーカーを振動させる[10]。

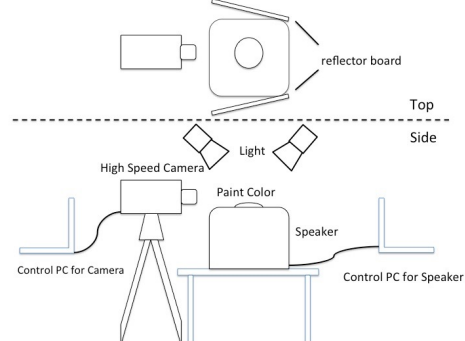


図 1 流体アート生成システム

[†] 京都大学 Kyoto University

[‡] 凸版印刷（株） Toppan Inc.

3.2 「サウンドオブ生け花」

土佐らはこの環境を用いて音の形状（サイン波、ノコギリ波など）・音の周波数・流体の種類・流体の粘度などを組織的に変化させて高速度カメラで撮影することによって種々の流体の形状が生成されることを確かめた[4]。さらにそのようにして得られたビデオ画像を日本の季節の色に合わせて映像編集することで、「サウンドオブ生け花[4][5]」と呼ばれるビデオアートを制作した。図 2 は、作品の 1 シーンである。またこの作品を用いて 2014 年にシンガポールにおいてプロジェクションマッピングを行った。2017 年 4 月には土佐の文化交流使活動の一環として、ニューヨークのタイムズ・スクエアにおいて 60 台以上のデジタル・ビルボードを用いて展示を行い、海外の多くの人から「日本的である」「日本美を表現している」などの高い評価を受けた。



図 2 「サウンドオブ生け花」の 1 シーン

3.3 「産声 by サウンドオブ生け花」

「産声 by サウンドオブ生け花」は、新生児の産声を「サウンドオブ生け花」を制作する際の音の振動源として用いるものである。これまでの「サウンドオブ生け花」制作では、安定的な振動源として主としてサイン波を用いていたため、産声を用いるにあたっては音の大きさや絵の具の粘性などの各種のパラメータの調整が必要であった。しかしその結果として、生命の誕生のエネルギーを表現した、世界でひとつだけの産声の生け花、世界でひとつだけのアートを作り出すことに成功した。図 3 に「産声 by サウンドオブ生け花」の例を示す。以下の実験ではこの産声を音源として用いている。



図 3 「産声 by サウンドオブ生け花」の例

4. 微小重力生成法

4.1 パラボリックフライト

パラボリックフライトは放物線状の飛行経路で飛行を行うものである。急速な降下により十分な速度を得た後、機体を引き起こし、空気抵抗を補償する程度まで推力を絞込むことで放物線運動を行う[11]。パラボリックフライト中は、

機体内で 10^{-2} ~ 10^{-3} 程度の微小重力環境が 10 秒~20 秒程度実現できるため、微小重力実験、宇宙飛行士の訓練などに利用されている。飛行によって月や火星に相当する 1/6、1/3 重力の実現も可能であり、また期待引き起こし時の 2 倍の重力の利用の可能性もある。国内ではダイヤモンドエアサービスが JAXA の支援を受けてパラボリックフライトの商用サービスを行っている。図 4 にパラボリックフライトにおける飛行曲線と各フェーズにおける重力を示す。

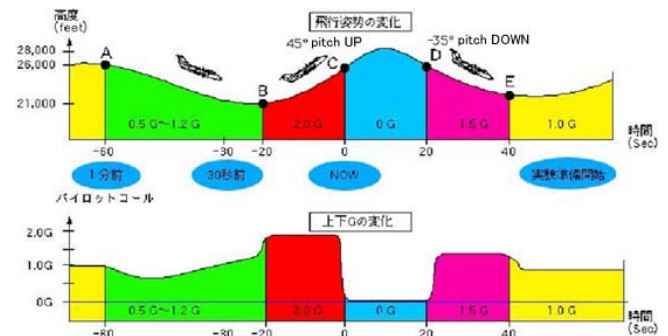


図 4 パラボリックフライト

4.2 自由落下

地上では常に重力 G が下向きに働いており、ものを下向きに引っ張っているおり、地上のものは常にそれに抗した状態にある。そのくびきを解き放つ方法として自由落下がある。物が重力に引かれるままに下向きに落下するとき、そのものは無重力状態にある（実際には空気の抵抗があるため完全な無重力状態ではない）。つまり高い場所からものを落とすことによって自由落下状態を作り出せば無重力を実現できることになる。

日本では、岐阜県土岐市にある日本無重量総合研究所（Micro-Gravity Laboratory of Japan: MGLAB）には自由落下距離 100m、自由落下時間 4.5 秒間の落下塔がある。この落下塔は塔内を真空にすることにより、空気抵抗を無くし落下カプセルを自由落下させる[12]。残念ながらこの施設はすでに使用を終了している。海外では、ドイツ、ブレーメンのブレーメン大学にある ZARM 微小重力実験設備が有名である。高さは 147m（実際の落下距離は 110m）で空気を抜いて真空にした塔内で落下カプセルを落下させるとほぼ 4.7 秒間の無重力を実現できる[13]。

5. 微小重力下での流体アートの生成

5.1 基本的な方法論

無重力下でのアート生成の取り組みとして「サウンドオブ生け花」を微小重力下でアーティストが主体となって生成する実験に取り組むことにチャレンジした。微小重力を生成する手段としては、第 4 章で述べたパラボリックフライトと自由落下のうち、安定して微小重力が発生できるパラボリックフライトを採用した。

同時に、単にパラボリックフライトで実現できる微小重力下で「サウンドオブ生け花」の映像を撮影しそれを 2 次元の新しいビデオアートとするだけではなく、それを 3 次元の物体として実現する試みに取り組むこととした。これは、先に述べたように「サウンドオブ生け花」が、「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のはなぜかという問題へのアプローチでもある。映

像として得られている「サウンドオブ生け花」を3次元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種々の検討を行ったり、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もとに「サウンドオブ生け花」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。

3次元復元を実現する方法として複数方向から撮影した画像をベースとして3次元モデルを作り出す方法が研究されているのでそれを採用することとする。撮影方法としては、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」の造形は、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などを考慮すると、選定できる瞬間は極めて限られる。それをいけ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。

実際、本研究ではまずは試験的に複数台のスチルカメラを用いてシステムを構築し、撮影する実験を行なったが、シャッターを押すタイミングによって美しい造形が期待される撮影結果を得ることが極めて困難であることがわかった。以上のような考察および予備実験に基づき、複数台の高速度カメラを用いて撮影を行うというこれまでほとんど行われたことのない実験を行うこととした。

5.2 パラボリックフライト用のサウンドオブ生け花生成装置

パラボリックフライト中における「サウンドオブ生け花」を生成するには、図1に示した生成システムを機内に持ち込むために、小型化したシステムを作成する必要がある。さらに「サウンドオブ生け花」を3次元物体化するためには、複数個の高速度カメラを搭載したシステムとする必要がある。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、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。完全な3次元復元には周囲360度から撮影する必要があるが、絵の具をセットするなどの作業空間が必要なため、まずは6台の高速度カメラでスピーカーを約120度～180度で囲むように配置することとした。図5に実際に制作した生成システムを示す。

この生成システムをパラボリックフライトを行う機内に設置して、パラボリックフライト中に絵の具のセッティング、スピーカーの駆動、複数の高速度カメラによる撮影を手早く行う必要がある。日本国内ではダイヤモンドサービスという会社がパラボリックフライトを提供しておりそれを利用することとした。実際のパラボリックフライトでは一回の飛行において図4に示したフライトを8回～10回行

った。それぞれの飛行において約20秒の微小重力が実現できた。図5に実際のパラボリックフライト中のアート生成実験の様子を示す。



図5 パラボリックフライトのための「サウンドオブ生け花」生成システム

土佐を含め実験参加者全員がパラボリックフライト初体験者である。慣れない環境でできるだけ失敗が少なくなるようにするため、実験室内に生成システムを設置し、実際のフライトと同様の時間間隔で絵の具のセッティング、スピーカーの駆動及びそれと同期した撮影の開始、撮影後の後始末（絵の具の載ったスピーカー上のフィルムの撤去と新しいフィルムのセット、撮影した動画のダウンロード）からなる練習を行った。約20回の練習によって短時間でそれぞれの手順を手際よくこなすことができるようになり、実際のパラボリックフライトにおいても練習通りの手順でほぼ失敗なくサウンドオブ生け花の生成と撮影を行うことができた。



図6 実際のパラボリックフライト中のアート生成の様子

5.3 パラボリックフライト下でのサウンドオブ生け花生成

先に述べたように1回のパラボリックフライトでは約10回の微小重力体験ができる。パラボリックフライトは2日をかけて2回行った。そのうち失敗を除いてサウンドオブ生け花の映像が撮影できたのは18回である。従って映像としては6ポジション×18回のビデオ映像が撮影できたことになる。図7に時間と共に生成された流体アートが変化の様子を示す。また図8には6ポジションから撮影したビデオ映像のある瞬間の画像の例を示す。

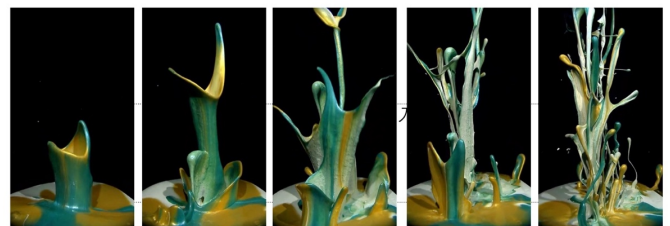


図7 微小重力下で生成された「サウンドオブ生け花」の時間変化の例

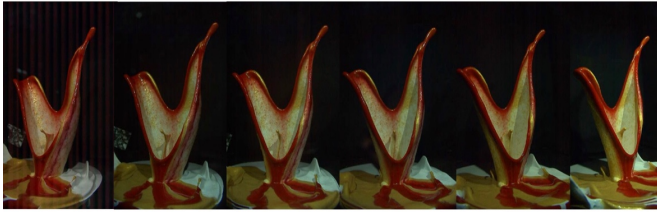


図 8 微小重力下で生成された「サウンドオブ生け花」の複数位置からの画像の一例

微小重力下で生成されたサウンドオブ生け花は、重力下のサウンドオブ生け花と比較して以下のような特徴を有していることがわかった。

- ・重力下では重力によって絵の具の飛び上がる高さが抑えられるのに対して、微小重力下ではそのような制限がないため、絵の具がより飛び上がり伸びやかな形状を作り出す。

- ・重力下ではある高さまで飛び上がった絵の具はその後落下を始めるため、飛び上がる絵の具と落下する絵の具が入り混じった形状を作り出すが、微小重力下では落下することがないため、飛び上がり広がる様子が形状形成の中心となる。

5.4 微小重力下のサウンドオブ生け花の3次元実体化

複数視点の画像から3次元モデルを作成する方法は種々の研究が行われている。また商用のソフトもいくつか販売されている。ここでは凸版印刷が「TRESIS 3D®」の名称で商用化しているソフトウェアを用いて6ポジションの画像から3次元モデルを復元する試みを行った。さらに得られた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。得られた3D形状の例を図9に示す。



図 9 3次元プリンタで出力されたサウンドオブ生け花

現時点では正面から見た形状の3次元復元ができているが、後ろ側の形状の復元が問題となる。この部分に関しては、大量のデータを用意してAIを使って復元することを計画している。

6. まとめ

宇宙時代の到来を睨んで、宇宙時代におけるアートのあり方を検討しておくことが重要である。そのような問題意識のもとに、筆者らは流体現象を利用して絵の具などの液体に音の振動を与えることによって制作しているビデオアート作品である「サウンドオブ生け花」や産声を音源に用

いて制作する「産声 by サウンドオブ生け花」が、無重力下もしくは微小重力下でどのような形状を生み出すかに興味を持っている。

本研究では無重力状態を作り出すための方法を調査するとともに、それに基づき微小重力を生成する方法として実験室内で微小重力を生み出すための自由落下装置のコンセプト・設計・製作に関して述べた。またそのパラボリックフライトを利用して微小重力環境を作り出し、その環境下で「サウンドオブ生け花」を制作した例について述べた。

パラボリックフライトは大がかりな実験であり費用も嵩むので、筆者らは簡便に微小重力を作り出す手法として自由落下による微小重力生成にも注目しており、実験室内に簡易な微小重力生成装置を構築し、「サウンドオブ生け花」の制作を、自由落下を利用することによって行うことも計画している。本論文で述べたパラボリックフライトを使ったアート作品の制作と実験室内の自由落下によるアート作品を比較することによって、手軽な自由落下装置でどの程度無重力下での流体アート制作という目標が達成できるのかが明らかになると思われる。またその結果を用いて、実験室内の自由落下装置を利用してある程度準備を進めておいて本実験としてのパラボリックフライトを行うという実験手法を確立できると考えている。

謝辞

ハイスピードカメラシステム MEMRECAM を実験に際して快く貸与して頂いた（株）ナック殿、特に実験にも協力頂いた山本和矢殿に感謝します。

参考文献

- [1] Kenneth H. Williford, et al., "The NASA Mars 2020 Rover Mission and the Search for Extraterrestrial Life," Chapter 11, "From Habitability to Life on Mars," Elsevier, pp.275-308 (2020).
- [2] <https://www.spacex.com/humanspaceflight/earth/index.html>
- [3] Maja Murnik, "Art in the environment of zero gravity: A sketch," Virtual Creativity, Vol.6, No.1-2, pp.67-74 (2016).
- [4] Yunian Pang, Hidekazu Tamai, Naoko Tosa, Ryohei Nakatsu, "Sound of Ikebana: Creation of Media Art Based on Fluid Dynamics," International Journal of Humanities, Social Sciences, and Education, Vol.8, No.3, pp.90-102 (2021).
- [5] Naoko Tosa, Yunian Pang, Qin Yang, Ryohei Nakatsu, "Pursuit and Expression of Japanese Beauty Using Technology," Special Issue "The Machine as Artist (for the 21st Century)," Arts journal, MDPI, Vol.8, No.1, 38 (2019).
- [6] <https://www.media.mit.edu/groups/space-exploration/overview/>
- [7] <https://iss.jaxa.jp/kiboexp/field/epo/pilot/first/>
- [8] <https://iss.jaxa.jp/kiboexp/field/epo/pilot/second/>
- [9] Peter S. Bernard, "Fluid Dynamics," Cambridge University Press (2015).
- [10] Yunian Pang, Liang Zhao, Ryohei Nakatsu, Naoko Tosa, "A Study of Variable Control of Sound Vibration Form (SVF) for Media Art Creation," 2017 International Conference on Culture and Computing (2017).
- [11] Mark Shelhamer, "Parabolic flight as a spaceflight analog," Journal of Applied Physiology, Vol.120, pp.1442-1448 (2015).
- [12] Tagawa, Y., et al, "Present State of Microgravity Laboratory of Japan," Journal of the Japan Society of Microgravity Application, Vol.6, No.2 (1989).
- [13] Dreyer, M., "The Drop Tower Bremen," Microgravity Science and Technology, Vol.22, No.4, pp.461-461 (2010).