

火山の内部活動をモチーフにしたインスタレーション

井浦 崇* 林 武文*

要 旨

ミュオグラフィは、宇宙線のミュオンを記録することで大きなサイズの対象を透視できる技術である。2017年4月に関西大学では、ミュオグラフィの原理と効率を普及させ、新しい応用分野での可能性を探るためのMuography Art Projectが設立された。本研究では、火山内部活動をモチーフにしたメディアアート作品を制作した。開発されたサウンド生成システムは、火山噴火中に得られたミュオグラフィ画像から音楽を生成する。サウンドインスタレーションアート作品としては、火山内部活動に同期した映像が、大地に降り注ぐミュオンのイメージ映像で囲まれる仕組みで展示に成功した。

キーワード：メディア・アート、ミュオグラフィ、サウンドインスタレーション、可聴化、可視化

An Installation Artwork as a Motif of Volcanic Internal Activity

Takashi IURA, Takefumi HAYASHI

Abstract

Muography is a fluoroscopic technology for large-sized targets, which works by recording the muons in cosmic rays. In April 2017, the Muography Art Project was established at Kansai University to disseminate the efficiency and principle of muography in public and to explore its possibility in new application fields. In this study, we constructed a media artwork as a motif of volcanic internal activity. The developed sound generation system produces music from muography images obtained during volcanic eruption. As a sound installation artwork, the system was successfully exhibited with a synchronized movie of volcanic internal activity and was surrounded by another moving image of muons showering on the ground.

Keywords: Media art, Muography, Sound installation, Auralization, Visualization

*関西大学総合情報学部

1. はじめに

ミュオグラフィは、地上に降り注ぐ宇宙線の中のミュオン粒子（ミュオン）を用いて地殻や大型の構造物を透視する技術である。近年、火山のマグマ、古代遺跡、溶鉱炉や原子炉などの内部の調査に用いられ、考古学や土木・建築など様々な分野での活用が期待されている^[1-3]。本報告では、ミュオグラフィに対する理解を深め、新たな可能性を探る目的で設立されたミュオグラフィアートプロジェクト^[4]におけるサイエンスアート・コンテンツの開発と情報発信について述べる。

我々は、地域社会に地域プロモーションのメリットをもたらす「文化資本コンテンツ」の開発を進めており、これまでに、3次元コンピュータグラフィックス（3D-CG）や高精細画像あるいはドローンと全天球映像を用いた情報発信を行っている^[5-7]。その新たな展開として、サイエンスアートを用いて情報発信を行うミュオグラフィアートプロジェクトを2017年4月に発足させた。本プロジェクトでは、地域の芸術家をメンバーに加え、ミュオグラフィを題材とした芸術作品の制作や情報コンテンツの開発を進め、地域から国内外に向けて情報発信を行うことを目指している。

今回の報告では、ミュオグラフィによる火山のマグマの活動の計測データを基に、音楽を生成するメディア・アートコンテンツの開発について述べる。開発したコンテンツは、映像と同期させて展示され、芸術空間を形成するサウンドインスタレーション作品として一般市民に向けた公開を行った。

2. ミュオグラフィの仕組み^[1-3]

超新星の爆発により、宇宙空間から地球に飛来する陽子やヘリウム原子核のような粒子（一次宇宙線）は、地球の大気と衝突して分裂し様々な素粒子（二次宇宙線）として地上に降り注いでいる。その7割を占めるミュオンは、数百メートル程度の厚みの構造物を貫通する能力を有している。しかも、移動途中で構造物の組成や密度に変化があると、透過量が変わるため、透過してくるミュオンの数を計測することにより構造物の内部構造を推定することが出来る。すなわち、X線を線源とするレントゲン写真と同様に、地上に降り注ぐミュオンを線源として、大型構造物の透視画像を得ることが可能となる。

地上で観測されるミュオンは、1秒間に手の平大の面積に1個であり、1日あたり我々の身体を100万個以上が通過している。また、ミュオンの半減期は $2.2\mu\text{s}$ である。ミュオンの移動速度が光速（ $3.0\times 10^8\text{m/s}$ ）であるとするところの間の移動距離は660mとなり地上に到達する前に崩壊してしまうことになる。しかし、相対性理論により、光速に近い速度で運動する物体では時間が遅れるため、この数十倍から数百倍の距離を移動できることになる。このようなミュ

オンの性質により大型の構造物の透視が可能となる。

物体を透過してくるミュオンの検出には、写真乾板を用いる方式（第1世代）、荷電粒子の通過により発光するシンチレータを用いる方式（第2世代）、ガスに入射した荷電粒子がつくる電子・イオン電流を検出する方式（第3世代）がある。田中らは、プラスチックシンチレータを用いた手法を火山の計測に適用し、高解像度の透視画像を得ることに成功した^[8]。この手法は、縦横に並べたシンチレータの格子（解像度15×15画素に相当、1画素の大きさは10×10cm程度）を6層用い、計測対象を透過してきたミュオンのみをカウントしている（図1）。火山の内部では、マグマの部分の密度が異なるため、これを捉えることが可能であり、定点観測による噴火予知の研究にも利用されている^[2]。

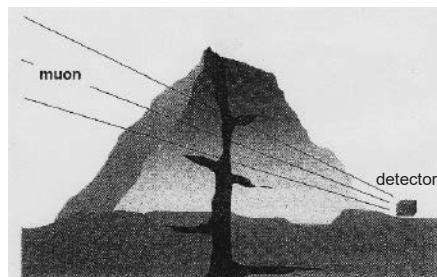


図1 ミュオグラフィの仕組み^[3]

Fig. 1. Measurement principle of muography.^[3]



図2 薩摩硫黄島の計測結果^[8]

Fig. 2. Muography image of the Satsuma-Iwojima.^[8]

3. サウンドインスタレーション

サイエンスアートは、芸術作品を通して最新の科学に対するイメージを鑑賞者に与えるものであり、欧米先進国での注目度が特に高い^[9-11]。

今回は、情報技術を用いたメディア・アート作品を制作し、展示による情報発信を行うこと

とした。コンテンツの制作者である筆頭著者の井浦は、これまでにメディア・アーティストとして、サウンドインスタレーション作品の制作に取り組み、国内外での展示と数々の受賞歴を有している^[12-16]。これらの作品の特徴としては、絵画や風景画像から音楽を生成し、その映像と展示会場の空間に調和させて提示する設営芸術すなわちサウンドインスタレーション作品として発信する点にある。今回は、画像から音楽を生成する制作手法を動画像に拡張し、ミュオグラフィの定点計測によって得られた、火山のマグマの活動のデータから音楽を生成する方法を提案した。

4. コンテンツの制作

〈4.1 計測データ〉

コンテンツのモチーフに用いた計測データは、東京大学地震研究所によって計測された薩摩硫黄島の噴火における2013年6月14日から7月10日までの定点観測データ^[2]である（図3）。

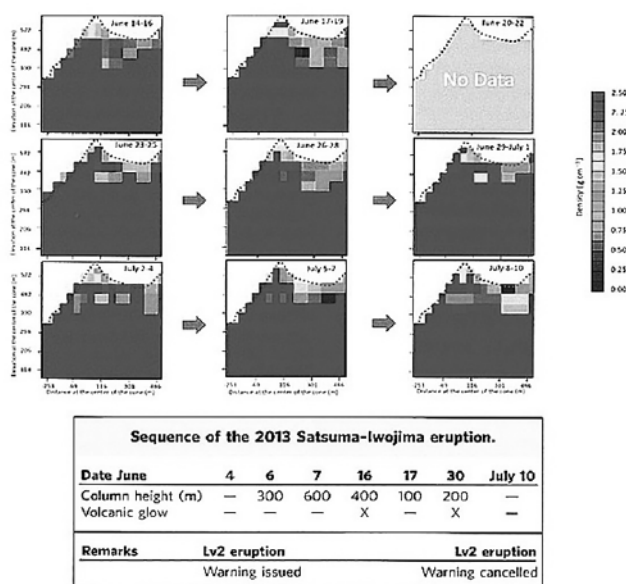


図3 オリジナルのミュオグラフィ画像^[2]

Fig. 3. Original muography images.^[2]

図3の9枚の画像は、1枚あたり3日間の計測結果を示しており、合計27日間における火山内部のマグマの活動が記録されている。3番目の画像が欠落しているのは、噴火に伴う環境変化により正確な計測が不能となったためである。これらの計測結果には、火山内部でマグマが繰り返し火道を上昇したり下降したりする様子が示されている。

〈4.2 映像の制作〉

上述の計測データは、計測者により平滑化処理が施され、高解像度の画像が制作されている。ここでは、作品の展示空間や展示の効果を考慮して、グレースケールの高解像度画像の提供を受け、これを基に作品を制作した。図3から生成された8枚のグレースケール画像を図4に示すが、輝度の高い部分がマグマに相当し、火山内部での上昇・下降活動がより強調されたものとなっている。

次に、これらの画像をクロスフェードして接続することにより、ムービーを生成した。ムービーの解像度は、 $1920 \times 1080 \text{ pixel}$ 、フレームレート30fpsである。

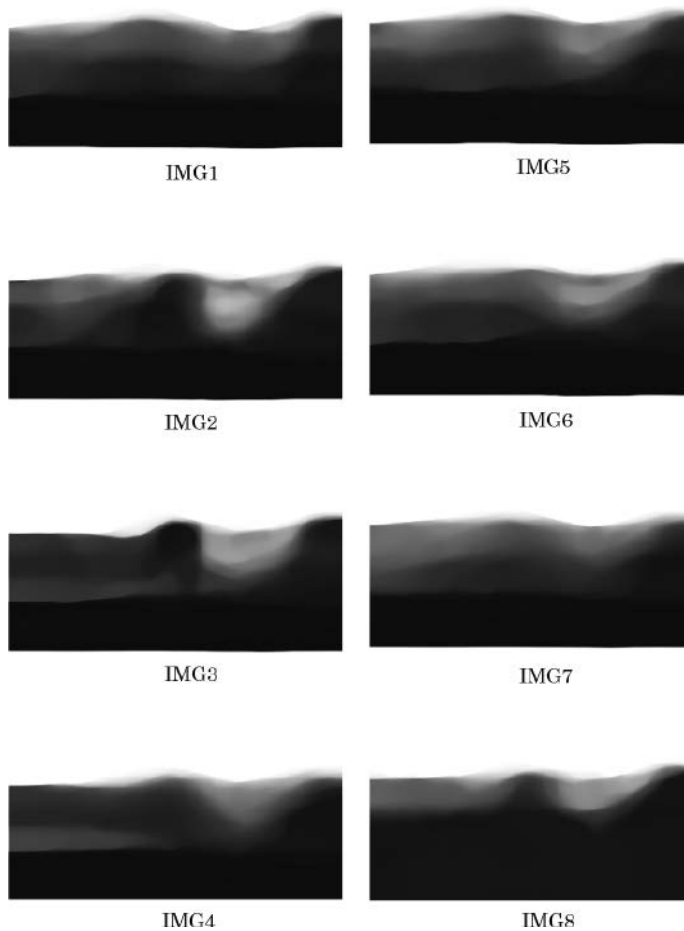


図4 ムービーのフレーム

Fig. 4. Movie frames

〈4.3 音響化〉

図4のフレームより音を取り出すために、各フレームを縦方向に12分割し、各領域の画素値の平均値を求め、その強度に応じて12音を割り当てた。

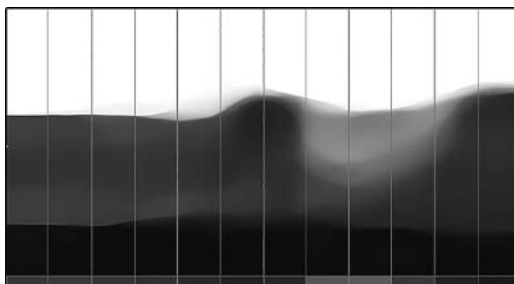


図5 ムービーのフレームの分割と平均画素値の表示
Fig. 5. Every movie frames are divided into 12 regions and the averaged pixel values are obtained.

図5に画像の分割の様子を示す。最下端に表示された矩形の領域の濃度値が12分割された領域の平均輝度値である。これを一定速度で左から右に掃引することにより、320ms毎に1トーンで音楽を生成した。

平均輝度値は、0～255までの値を取りうるが、この変化を単なる音ではなく、音楽として取り出すためには、創出したい空間イメージに合わせて平均画素値と音程の対応付けを行うことが不可欠となる。

ここでは、以下の式(1)～(3)により、平均輝度値 I_{mean} を12で割った余りを音の番号 n_{note} 、また商をオクターブ数 n_{oct} として求め、 n_{note} の値を決められた音階(スケール)の中の音 n_{scale} に対応付けた。

$$n_{note} = \text{mod} (I_{mean}, 12) \quad (1)$$

$$n_{oct} = \text{trunc} (I_{mean} / 12) \quad (2)$$

$$n_{scale} = \text{convert} (n_{note}) \quad (3)$$

式(1)の n_{note} を直接12音に対応づけせず、式(3)によって n_{scale} に変換して発音することにより、不協和音を防ぎ、調性が定められた旋律を生成することが出来る。

今回は、ミュオグラフィのスケールの大きさ、深さを演出することをテーマとして全体の構成を決めている。特に、会場を訪れる一般市民にとって、明るく分かり易い響きとなることを念頭に置き、式(3)の変換には、Cメジャースケールを用いた。同時にシンセサイザーでイメージに合わせた音色も作成した。

図6に、式(3)の convert 関数に相当する対応表(オーサリングソフトの画面)を示す。こ

ここでは、横軸が入力値の n_note であり、式 (1) で計算された 0～11 の値がそれぞれの位置に入力される。縦は出力の n_scale の値で、C メジャースケールの音に変換されるように n_note を対応付けている。

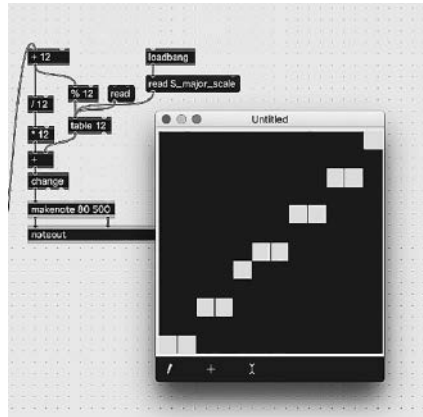


図6 C メジャースケールへの変換テーブル
Fig. 6. Conversion table to C-major scale.

最終的には、MIDI ノート番号 n_midi を以下の式によって求め、音を生成した。

$$n_midi = n_scale + 12 * n_oct \quad (4)$$

これらの一連の処理は、オーサリングツール Cycling '74 MAX により変換プログラムを作成して、実際に音階を発音させながら、ミュオグラフィの変化がより分かり易い音域に調整した。

MIDI ノート番号は、0～127 の値を取るが、今回用いた図4の各グレースケール画像では、式(1)～(4)より求めた n_midi は、数値が小さく、低音側の音となったため、さらに12を加えて1オクターブ上に変換した。

$$n_midi = n_scale + 12 * (n_oct + 1) \quad (5)$$

このようにして、画像の各分割領域の平均輝度値を音階中の音に置き換えて画面の左から右にたどって発音することにより、メロディーの生成を可能とした。すなわち、図4に示した8枚のミュオグラフィ画像が、8種類のメロディーを生成し、ムービーの進行とともに現れることになる。

映像と音楽が同期していることを強調するために、ムービー画面で、現在鳴っている平均画素値の領域の上を移動する赤いマーカーを表示した(図10)。

〈4.4 展示空間の設計〉

大阪中心部の大規模商用施設の中にある、グランフロント大阪ナレッジキャピタル・アクティブスタジオでの展示に向けた空間設計を行った。会場の見取り図を図6に示す。会場の入り口側半分の部分では、CGやVRなどのコンテンツや絵画によるサイエンスアート作品の展示が行われるため、残りの右半分の空間が展示スペースとなった。

図中のメインプロジェクタ（Main projector）により、正面の200インチのメインスクリーンに図4に示したムービーを映写し、会場全体に音楽を流した。

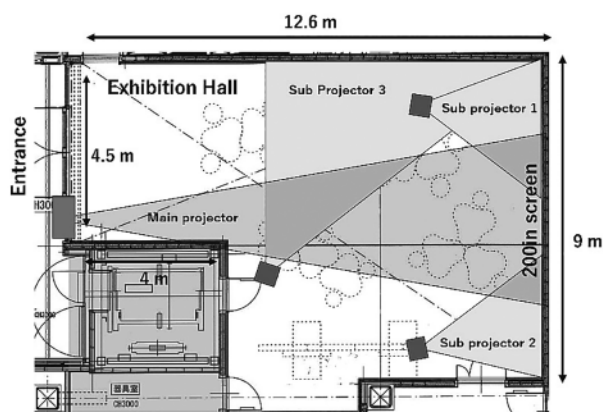


図7 空間設計
Fig. 7. Space design.

また、サブプロジェクタ3台（Sub projector 1～3）によって、メインスクリーン周囲の空間にミュー粒子が降り注ぐイメージの映像を投影した。

サブプロジェクタで投影したミュー粒子の軌跡の映像は、東京大学より提供された計測データを参考にしている。実際のムービーの制作には、Adobe AfterEffectsのパーティクル効果を用いた。粒子の生成は上半球の上方から下方に向けてほぼランダムとし、軌跡を描いて地上に降り注ぐ様子を表現した。サブプロジェクタ1台の投影面積に降り注ぐ粒子の数は、毎秒2500程度あるが、これをそのまま表示すると密度が高くなり過ぎて、メインのムービーや会場全体の雰囲気に影響を及ぼす。そこで、この数を1/5の500個程度に間引いて表示することにした。展示会場で試写したところ、ミュオンの数が少ない方が、粒子が上空から飛来しているように見えた。

5. コンテンツの展示

今回制作したサウンドインスタレーション作品は、2017年9月5日～12日にナレッジキャピタル・アクティブスタジオ（グランフロント大阪北館2F）で開催された「第1回ミュオグラ

「フィアート展」において展示された（図8～図13）。この展示では、ミュオグラフィのアウトリーチを目的としたCGおよびAR（拡張現実感）コンテンツや芸術家による絵画作品の展示も同時に行い、講演会やスタジオトークも開催して広く一般市民に情報発信を行うものとなった^[17,18]。

制作したサウンドインスタレーション作品は、図9～11に示すように天井から降り注ぐミュオンのイメージとともに展示され、来場者の注目を集めた。



図8 展示ホール入口

Fig. 8. Entrance of the exhibition hall.

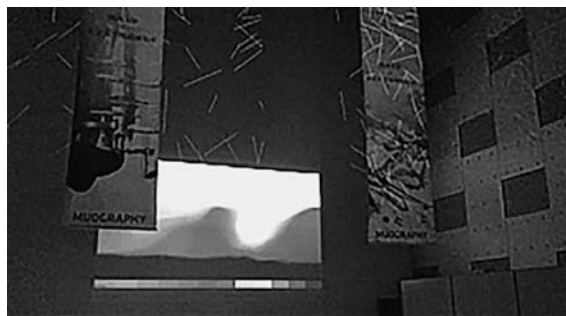


図9 サウンドインスタレーションの全容

Fig. 9. Sound installation work.

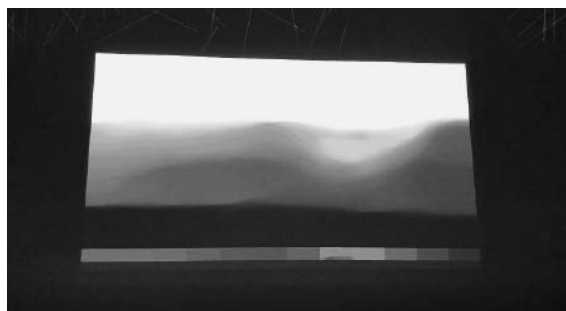


図10 音楽と同期した映像

Fig. 10. Main movie synchronized with music.

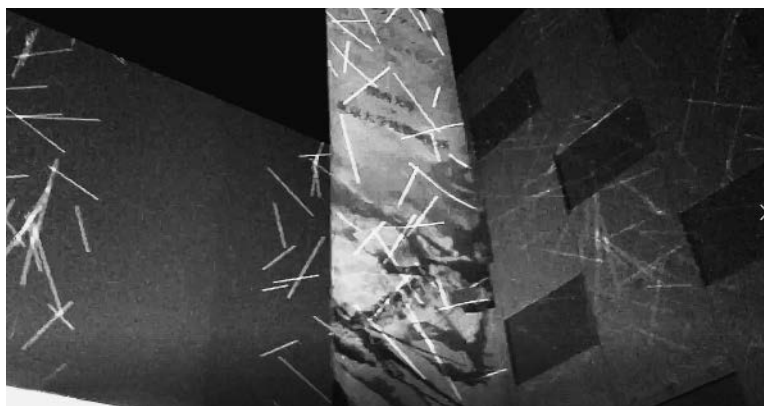


図11 周囲に降り注ぐミュオンのイメージ
Fig. 11. Surrounding muon-shower image.



図12 会場に展示された絵画とデジタルコンテンツ
Fig. 12. Pictures and digital content exhibited in the exhibition hall.



図13 芸術家によるスタジオトーク
Fig. 13. Studio talk by artists.

8日間の展示で1000名を超える来場者があり、本作品は会場全体の空間と雰囲気作りに貢献し、展示会以外の目的で施設を訪れた一般人を会場へ誘導する役割を果たした。今後予定されている展示会に向け、新たな情報技術を用いたサイエンスアート作品の制作を進めるとともに、来場者の反応やインタビューを通して、本アプローチの有効性について検証を行う予定である。

今回制作したサウンドインスタレーションは、噴火やマグマのダイナミズムの表現よりも、地中におけるマグマの低速の動きに基づく奥深さや心地良さを追求したものとなった。天井の高い展示ホールの照明を落とした空間とマッチして印象的な作品展示であったと言える。

現代の先端科学をモチーフにしたサイエンスアートは、新しい表現を引き出すポテンシャルを有しており、本プロジェクトでも様々な分野の芸術家との共同作業により多様な手法を用いた新しい表現手法の追求を進めたい。

6. おわりに

ミュオグラフィをモチーフとしたサウンドインスタレーション作品の制作と情報発信について述べた。ミュオグラフィアートプロジェクトでは、地域の芸術家を加えたサイエンスアートと情報コンテンツの制作を展開しており、今後は関東圏での展示も予定している。近年深刻化している若年層の科学離れを食い止めるための一手段として、サイエンスアートを利用する試みが欧米の先進諸国では注目されつつある。本研究の取り組みがミュオグラフィの更なる可能性を引き出すとともに、背後にある最先端の科学や技術に対する興味や理解を促すサイエンスアートとして社会に貢献できることを期待している。

謝辞

本取組は、2017年度関西大学教育研究緊急支援経費において、課題「アートを適用した新たな科学研究・教育の情報発信に関する研究」として支援経費を受け、その成果を公表するものである。

ミュオグラフィの計測データと技術情報を提供して頂いた東京大学地震研究所 田中宏幸教授、日頃から研究プロジェクトのご支援を頂く国際美術研究所所長・元関西大学シニア URA 角谷賢二氏と関西大学研究推進部 URA 館正一氏に感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 田中宏幸・竹内薫：素粒子で地球を見る ―高エネルギー地球科学入門，東京大学出版会（2014）。
- [2] 宮本英昭・田中宏幸編：ミュオグラフィ ―21世紀の透視図法，東京大学総合博物館，（2015-12）。
- [3] 田中宏幸：ミューオン素粒子研究と巨大物体の内部を覗く21世紀の透視技術 ミュオグラフィ（上），計測機器，No.824 pp.14-19（2017-2）。
- [4] 関西大学総合情報学部：Muography Art Project ホームページ
<<http://wps.itc.kansai-u.ac.jp/ku-map/>>（2018.5.31アクセス）。

- [5] 林武文：文化資産のコンテンツ化と地域振興に向けた取り組み，平成28年電気学会 電子・情報・システム部門大会 講演論文集，pp.562-567 (2016)．
- [6] 林 武文，角谷賢二：超高精細画像を用いた絵巻物コンテンツの開発，平成29年電気学会 電子・情報・システム部門大会 講演論文集 TC17-5，pp.685-690 (2017)．
- [7] 関西大学総合情報学部：360° フロンティアホームページ
<<http://www2.kansai-u.ac.jp/f360/>> (2018.5.31アクセス)．
- [8] Tanaka, H. K. M., Uchida, T., Tanaka, M., Shiobara, H., & Taira, H.: Cosmic-ray muon imaging of magma in a conduit: degassing process of Satsuma-Iwojima Volcano, Japan, Geophysical Research Letters, Vol.36, L01304, pp.1-5 (2009)．
- [9] 佐藤亮子，標葉隆馬：サイエンス・アートが社会に果たす役割 ～Eduardo Kac の遺伝子組換えアート作品の事例を通じて～，科学技術コミュニケーション，Vol.12, pp.31-43 (2012)．
- [10] ARTS・AT・CERN: ARTS AT CERN ホームページ
<<http://arts.cern/>> (2018.5.31アクセス)．
- [11] Public Events: Art Gallery: Felmilab ホームページ
<<http://events.fnal.gov/art-gallery/>> (2018.5.31アクセス)．
- [12] 井浦 崇，大島幸代：Designing Nature 燕子花（インсталレーション作品），琳派400 年記念 新鋭選抜展，京都文化博物館 インсталレーション作品 27.1 (2015)．<京都新聞社賞受賞>
- [13] 井浦 崇，大島幸代：Designing Nature Tsuru（インсталレーション作品），琳派400年記念 新鋭選抜展，京都文化博物館 (2016-1)．<京都新聞賞受賞>
- [14] T. Iura, S. Oshima: Designing Nature kakitsubata ver. Linz, ARS ELECTRONICA FESTIVAL 2015, (2015.9.3-7, Linz, Austria)．
- [15] T. Iura, S. Oshima: THE STREAM GLIDES ON CALMLY: (art work), Personal Exhibition/LAMPE STUDIO, Paris (2014-9)．
- [16] 井浦 崇，大島幸代：Plants music [the inner rose]（芸術作品），京都府美術工芸新鋭展，京都文化博物館 (2014-1)．<NHK 京都放送局長賞受賞>
- [17] Muography Aart Project 編著：Muography on Visualization in the 21st Century, 秋田活版印刷 (2017-9)．
- [18] 林 武文，堀 雅洋，Norman D. Cook, 井浦 崇：ミュオグラフィを題材としたメディア・アートコンテンツの開発，電気学会研究会資料，知覚情報研究会・複合現実型実応用および一般，Vol.2017, PI-17-075, pp.19-22 (2017-9)．