

ミューオグラフイの 基礎とアート

目 次

1. ミュオンとは？-----	3
2. いろいろな素粒子-----	4
3. ミュオンは地球に届くの？-----	5
4. 第3世代のミュオグラフィ測定装置-----	6
5. ミュオグラフィの実測原理と桜島への応用-----	7
6. 田中宏幸教授による火山の実測データ-----	8
7. ミュオグラフィの古墳への応用-----	9
8. 情報学技術で可視化-----	10
9. プロのミュオグラフィアート-----	11
10. ミュオグラフィのサウンドインスタレーション と交響曲-----	15
11. 空間設計ミュオグラフィアート-----	16
12. 学生のミュオグラフィアート-----	17
13. 小学生のミュオグラフィアート-----	20

資料提供者

一般：田中宏幸 林武文 井浦崇 大島幸代 角谷賢二
ノーマンD・クック 中島裕司 堀井文夫
久保田晃弘 後藤天 市川裕司 淵田雄
郷原啓二 サラ・スタイゲルバルド
フェデリコ・イアコブッチ 木村政雄
松田美津雄 中村和可 久本茉希

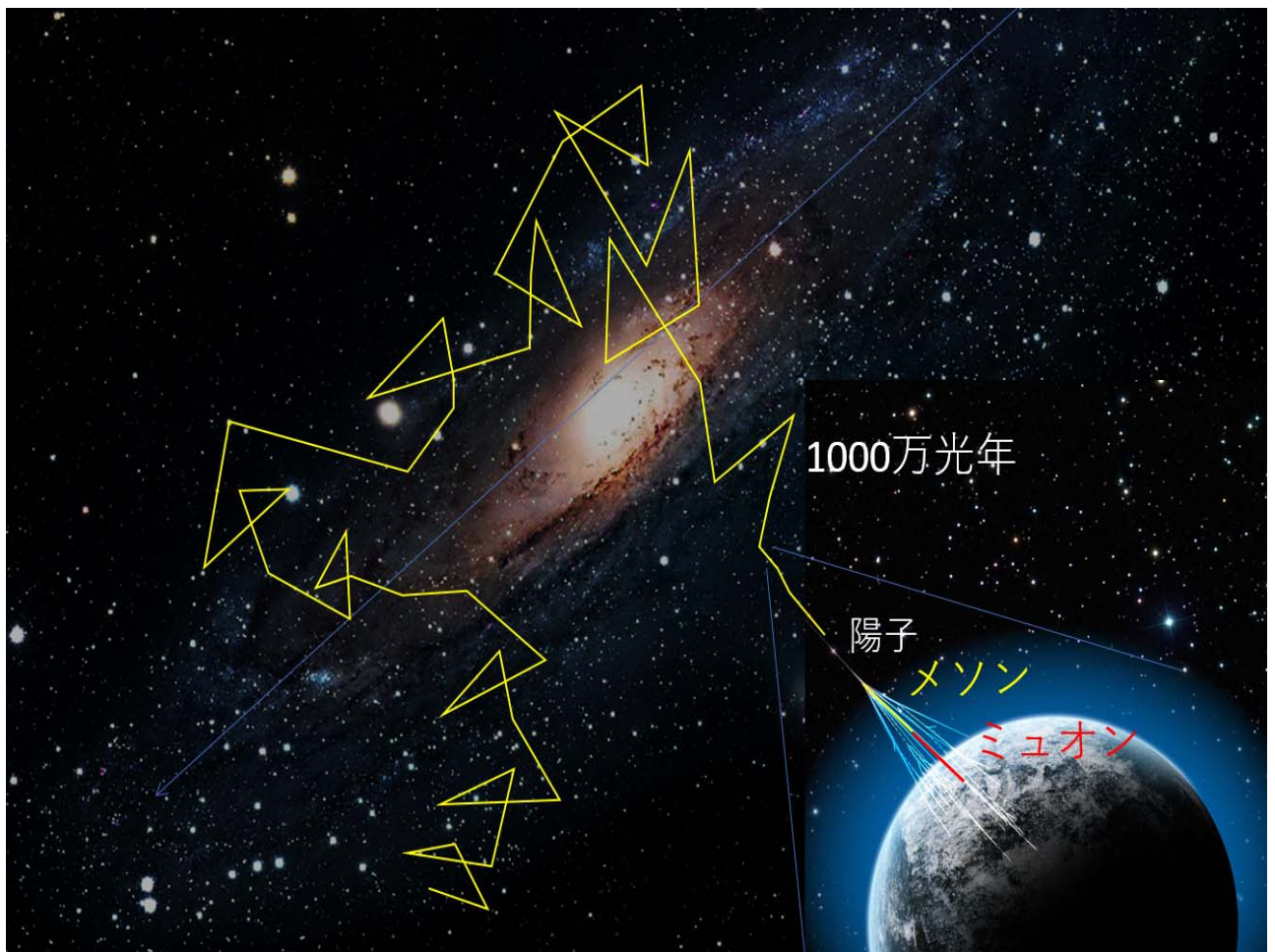
学生：坂口和也 小阪美咲 大曾初音 大塚晴乃
畑美沙樹 西口桃 仁司朋花 村岡あず美
泉谷健太 早瀬ゆりあ

ミュオンとは？

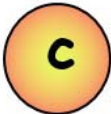
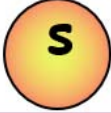
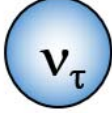
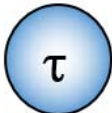
ミュオンは、宇宙のかなたから飛んできた宇宙線が地球の大気（酸素、窒素など）に触れたときに発生します。電子の約207倍の重さを持っており、その寿命は $2.2\mu\text{s}$ （ 2.2×10^{-6} 秒）です。電気素量に等しい正と負の電荷と $1/2$ のスピンを持っています。地上には、手のひらサイズ（ $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ ）に1秒間に1個の割合で降り注いでいます。言い換えれば、寝ている間（約8時間）に人の体を100万個突き抜けていますが、人体には悪影響はありません。

ミュオンは、1936年にカール・アンダーソンとセス・ネッダーマイヤーによって宇宙線の中に発見されました。2007年に田中宏幸教授によって浅間山の透視に成功して以来、ミュオンが多くの人たちに注目されるようになってきました。

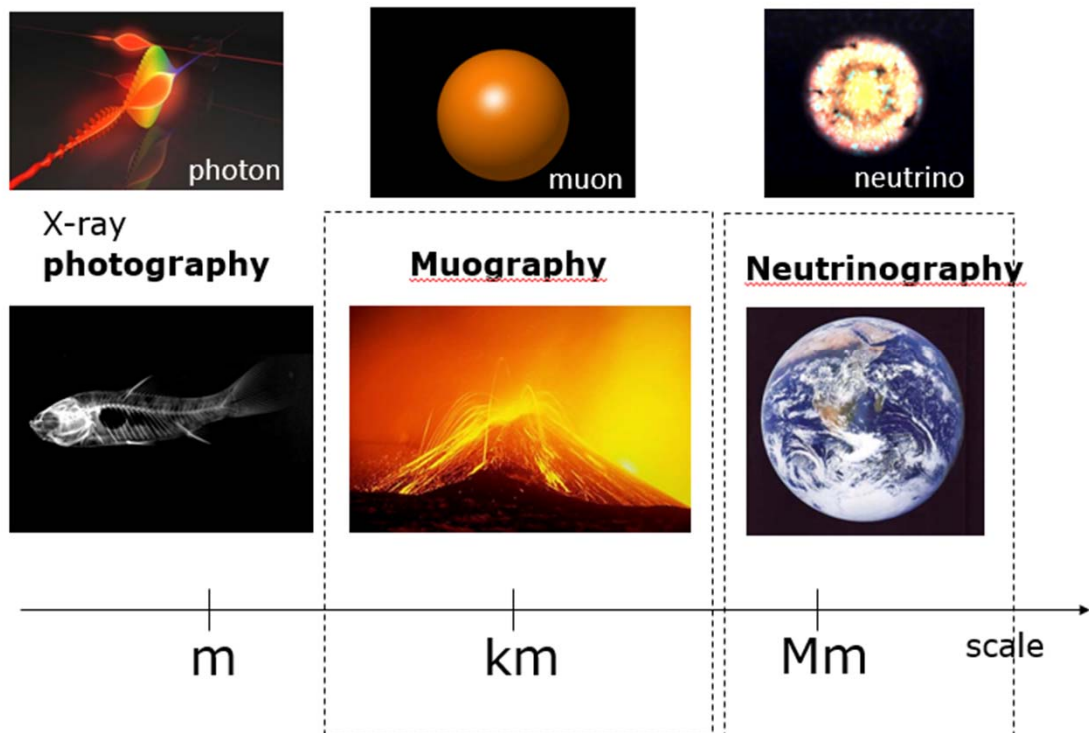
2017年に発足したミュオグラフィアートプロジェクトは、ミュオンやその応用をアートで表現し、「ミュオグラフィの原理から観測限界までの正しい理解」を科学者、芸術家との連携によってなしとげようとしています。



いろいろな素粒子

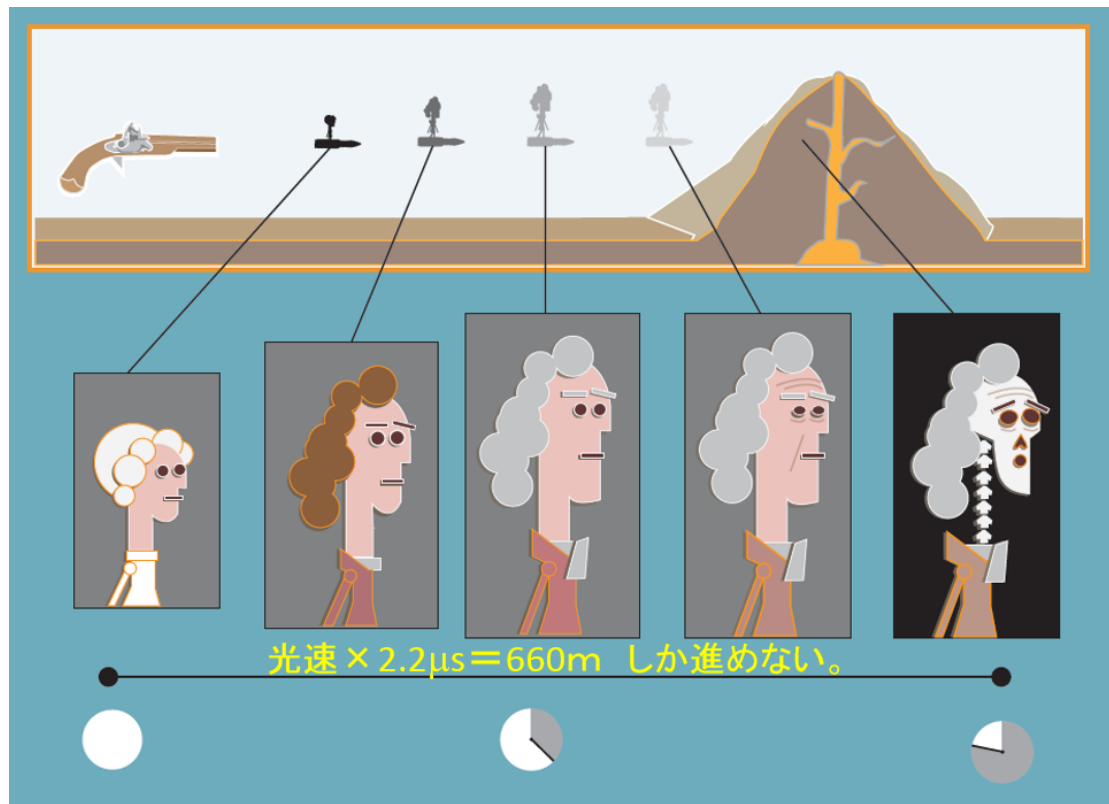
$+2/3$				quarks (q) ↑
$-1/3$				
0				leptons ↓
± 1				
mass	1	205	3500	
Decay time	∞	<u>$2.2 \mu s$</u>	<u>$0.3 ps$</u>	
		 $660m @ \text{Speed of light}$		

素粒子は、その質量、電荷の大きさなどによって12種類に分類されています。

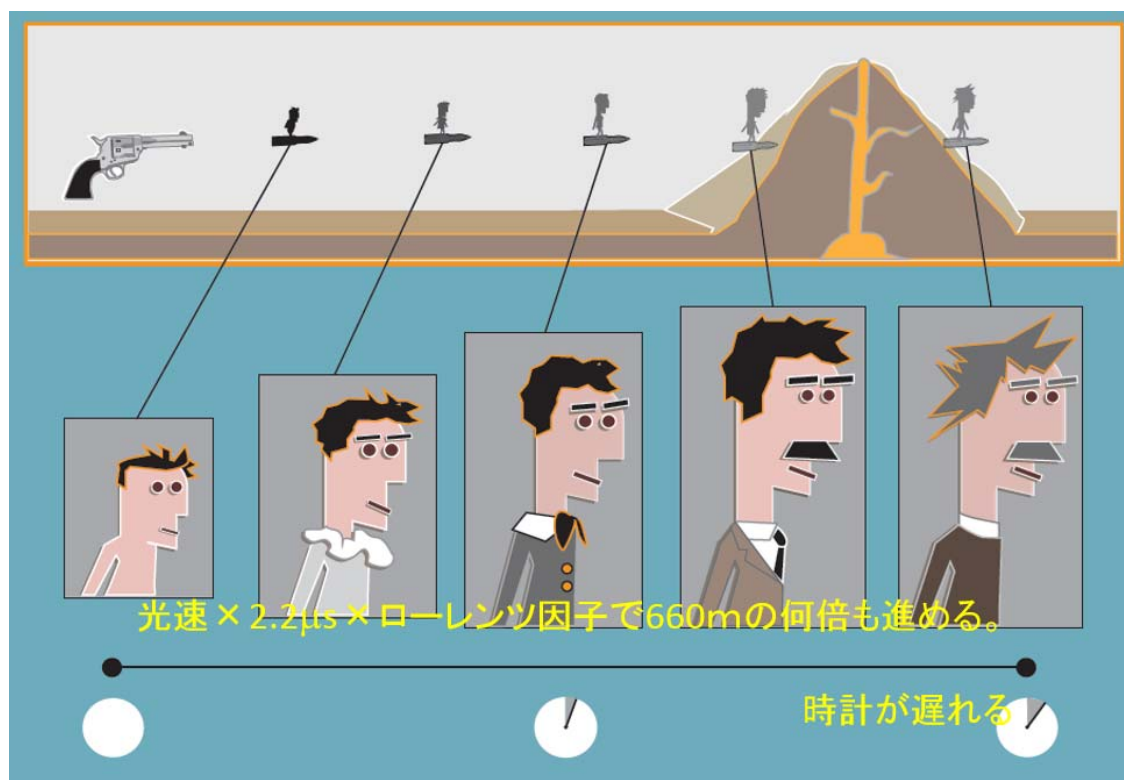


素粒子のエネルギーや種類によって測定対象物が異なります。X線は小動物や人体の透視に適しており、ミュオンは火山や古墳などの巨大物体の透視に適しています。

ミュオンの寿命は、 $2.2\mu\text{s}$ なのになぜ地球に届くの？



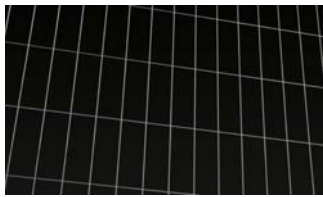
もし、相対性理論がなかったらミュオンは地球には届きません。



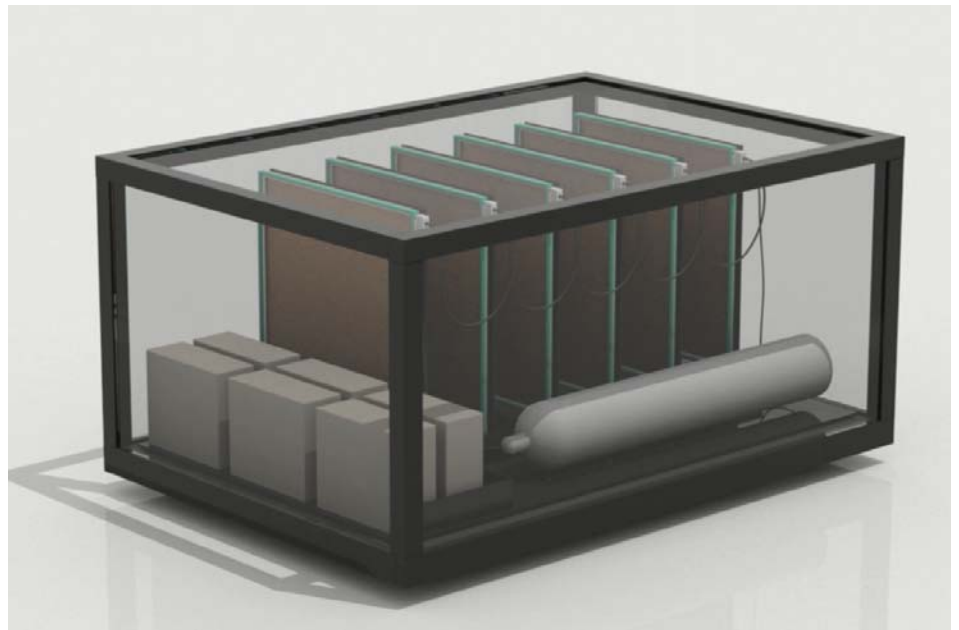
ミュオンの挙動は相対性理論の世界です。寿命は短くても時間が遅れるため地球に届きます。

第3世代のミュオグラフィ測定装置

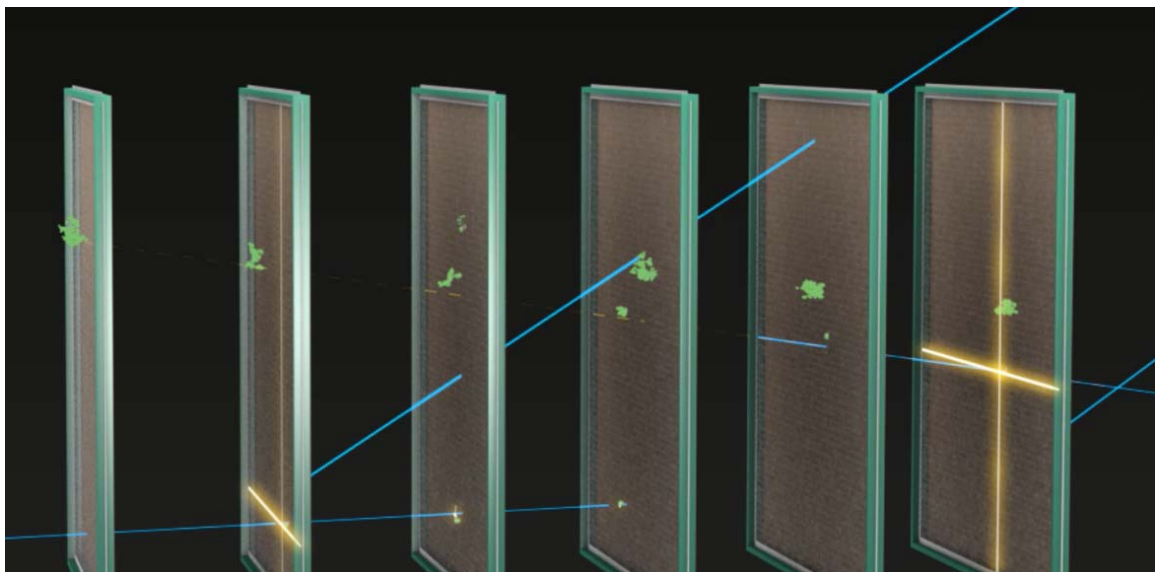
ミュオグラフィとは、巨大物体を透視できる最先端技術です。ミュオグラフィは、X線透視と原理が全く同じですが、X線を使わずに宇宙から飛んでくるミュオンを使います。ミュオンは、あらゆる方向から飛んでくるため6枚の検知板を用いて飛んでくる方向を定めます。また、検知板の間には、鉛板を挿入してミュオン以外の粒子を遮断します。これにより大幅にノイズが低減します。下の写真は第3世代のミュオグラフィ装置をコンピューターグラフィックの技術で可視化したものです。



検知板内にワイヤーを1ないし2cm間隔で格子状に張り巡らします。測定中は、2000V近い電圧をかけ、イオン化した粒子を検知します。

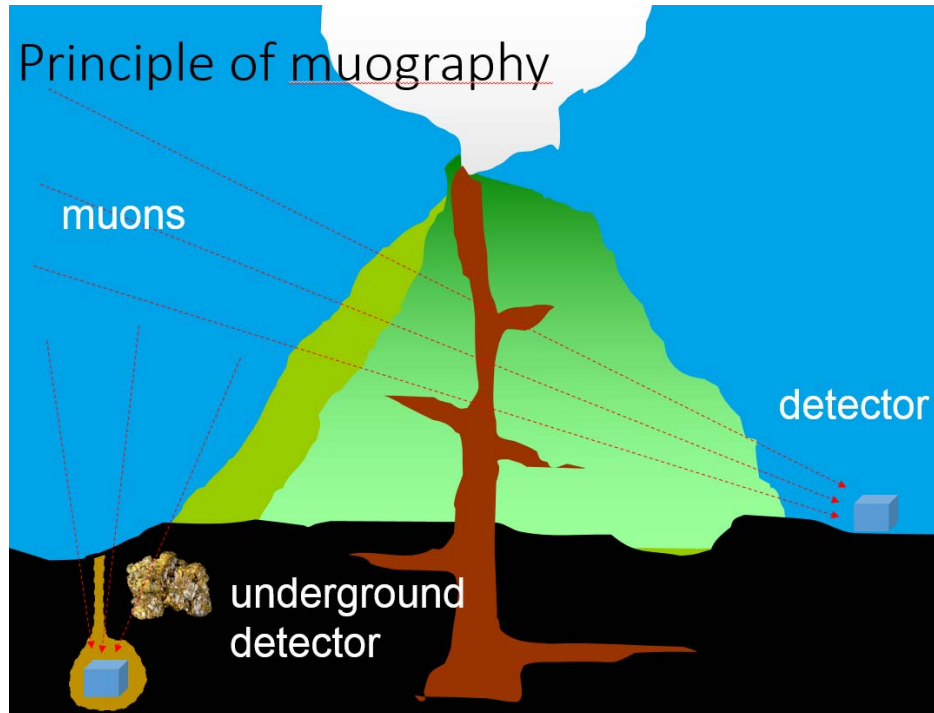


検知器は6枚取り付けます。各検知器にはArとCO₂ガスを流します。

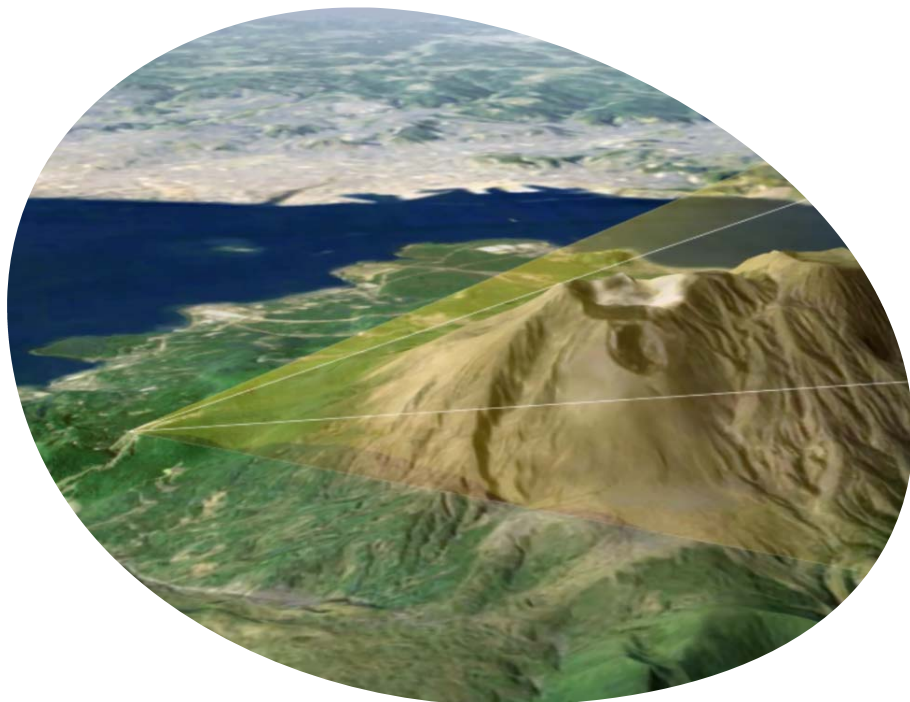


ミュオンは手のひらサイズに1秒間に1個の割合であらゆる方向から飛んできます。それをCGで可視化しました。実際はミュオンは目で見えることはできません。

ミュオグラフィの測定原理と桜島への応用

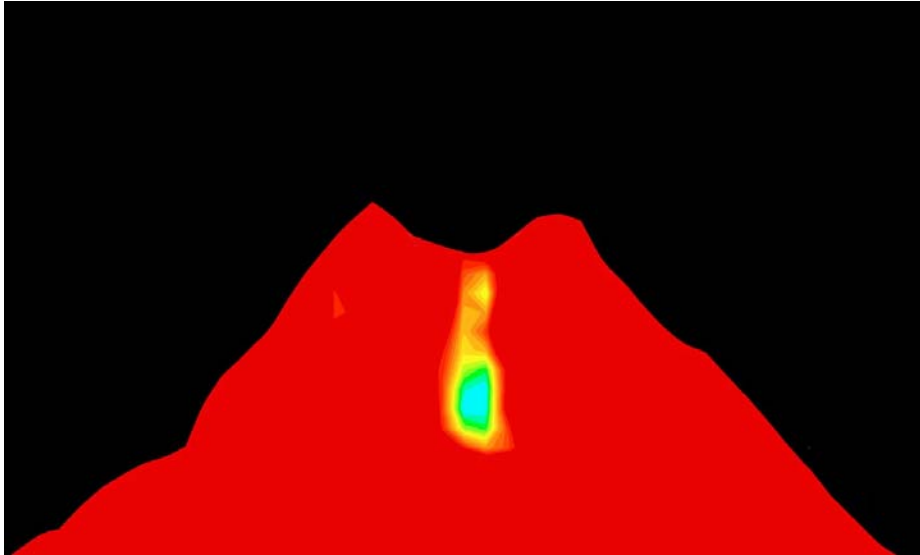


ミュオンはあらゆる方向から飛んできます。ミュオグラフィ装置によって透視したい物体を通過したミュオンの数を測定します。

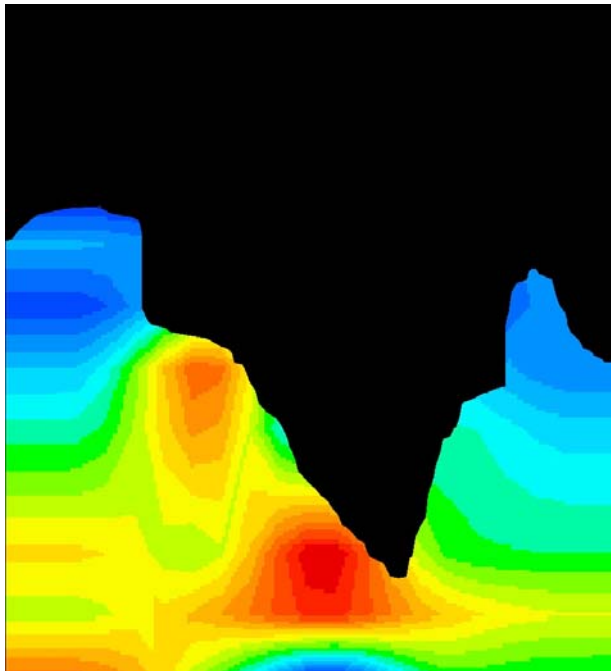


ミュオグラフィ装置によって桜島を透視している様子を3D-CGによって可視化しました。

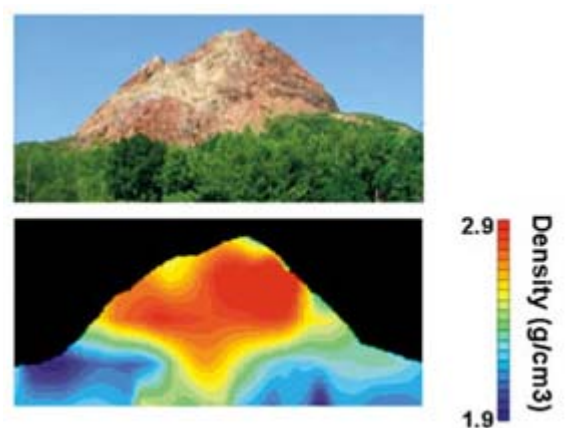
田中宏幸教授らによる 火山の実測データ



田中宏幸（東京大学教授）らによる薩摩硫黄島の透視像です。2008年火山の透視撮影に成功した薩摩硫黄島の透視画像で世界的に有名になった画像の一つです。これは、アートではなくまさに実験データです。薩摩硫黄島のマグマがみごとに捉えられています。火口の深さ約150mから250mの付近にマグマがたまっているのがわかります。幅は200mほどです。赤いほど密度が高く、青いほど密度が低いことを示しています。結果、溶岩が対流していることがわかりました。



2007年世界で初めて田中宏幸（東京大学教授）らによる浅間山の透視像です。図内の色彩はミュオンの平均密度を示しています。赤い場所ほどミュオンの平均密度が高く、赤い箇所は噴出して固まったマグマです。



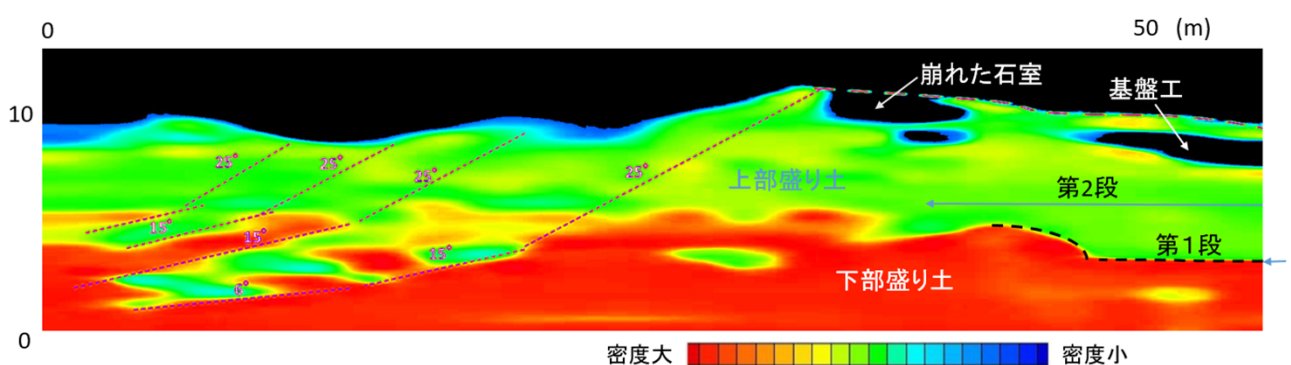
田中宏幸（東京大学教授）らによる昭和山の新山の透視像です。中央下に密度の高い部分があり、これが火道と考えられます。

ミュオグラフィの古墳 への応用

最先端技術であるミュオグラフィを用いて古墳を非破壊で透視し、その内部構図を明らかにします。古墳ミュオグラフィプロジェクトは、2019年から高槻市の今城塚古墳をミュオグラフィによる内部構造解析のモデルとして位置づけました。成功後は日本に存在する多くの古墳への展開を図る予定です。



2019年9月から、ミュオグラフィによる高槻市の今城塚古墳の透視測定が開始されました。



今城塚古墳後円部の透視図

今城塚古墳後円部の透視像です。新たな石室などは見つかっていませんが、1596年の伏見地震によってくずれた石室基盤工の部分および地滑りの全体像が写し出されました。

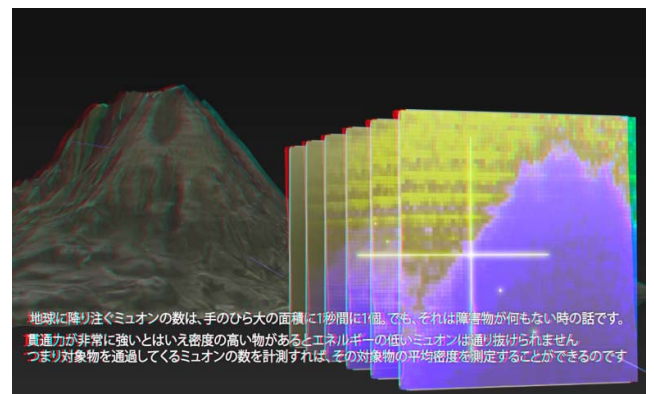
【ミュオグラフィのその他の応用】現在考えられているミュオグラフィの応用例としては、火山、ピラミッド、古墳、ビル、橋、ダム、鍾乳洞などいろいろな分野が想定されています。

情報学技術で可視化

関西大学総合情報学部林武文ゼミでは、「情報をカタチにする。視覚を科学する。」をテーマに研究を行っています。最先端の物理学の研究成果であるミュオグラフィをカタチにするため、プロジェクションマッピングなどを使ったサイエンスアートを制作しています。現存する活火山や古墳時代に作られた前方後円墳の模型を3Dプリンターで精密に作り、そこに地理情報や航空写真と予想されるミュオグラフィによる透視結果を組み合わせた映像をプロジェクションマッピングしています。



プロジェクションマッピングPMによって真っ白の古墳の模型にミュオンが降り注ぐ様子や透視状況を可視化しています。



コンピューターグラフィックCGによって桜島のミュオグラフィ測定を可視化しています。

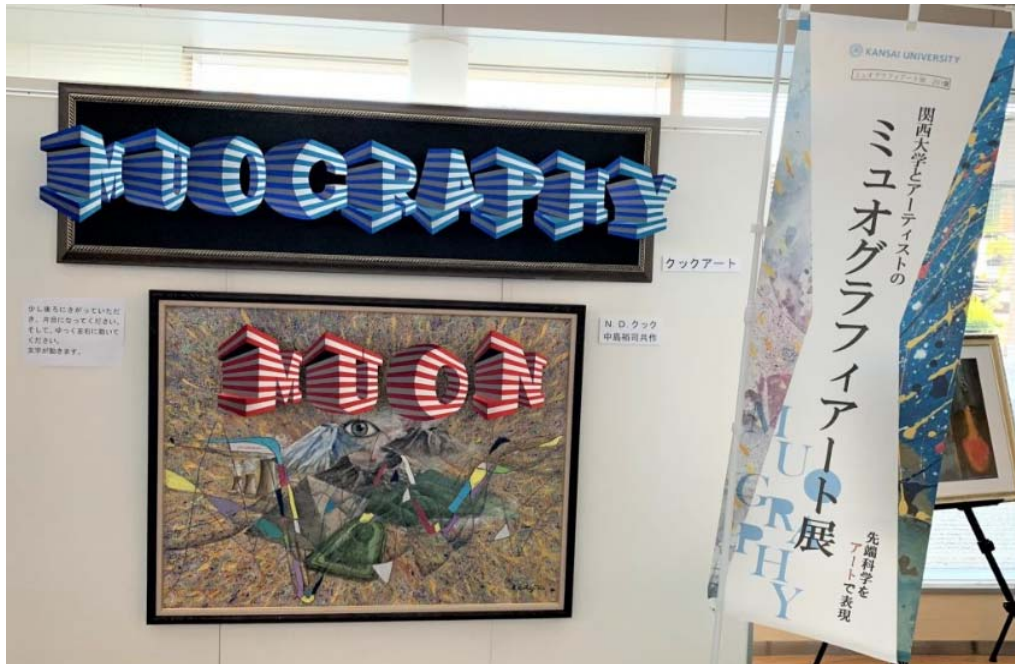


仮想現実VRによってミュオグラフィで透視された火山や古墳内部の仮想的な空間をヘッドマウントディスプレイ（HMD）によって体験できます。若い人に人気のデバイスです。



拡張現実ARによって今城塚古墳の後円部にミュオンが降り注ぐ様子を可視化しています。

プロの ミュオグラフィアート



【上の写真】MUOGRAPHYとMUONの文字は、ノーマンD・クック教授による3Dイリュージョン、逆遠近錯視です。目の位置を移動すると文字が動きます。不思議な現象を体験できます。
絵の部分は、中島裕司画家によって描かれた作品で、ミュオグラフィは火山、ピラミッド、古墳へ応用できることを絵画で表現しています。ミュオグラフィアートプロジェクトの代表的作品です。

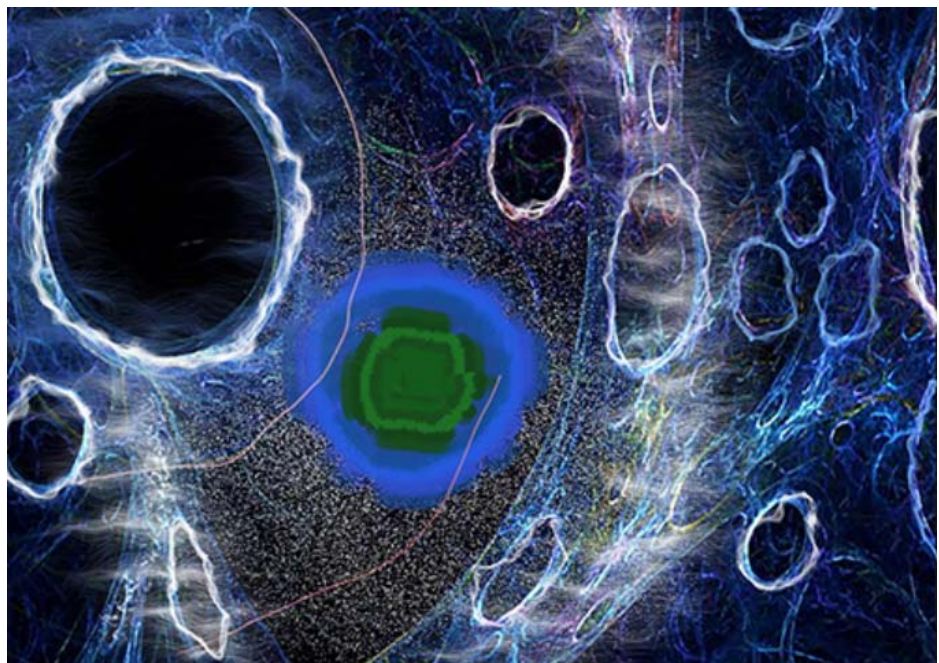


【下の写真】この絵画は、中島裕司画家によって描かれた薩摩硫黄島のミュオグラフィアートです。

プロの ミュオグラフィアート

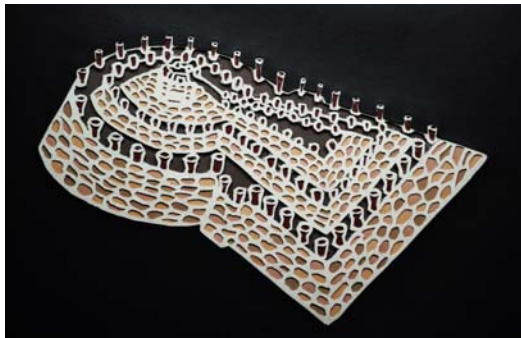


【サラ・スタイゲルバルド「薩摩硫黄島デジタルアート」】これは油絵のようですが、実はデジタル画です。サラ・スタイゲルバルドの代表的作品です。田中宏幸教授の薩摩硫黄島透視データをもとにイメージ化したものです。

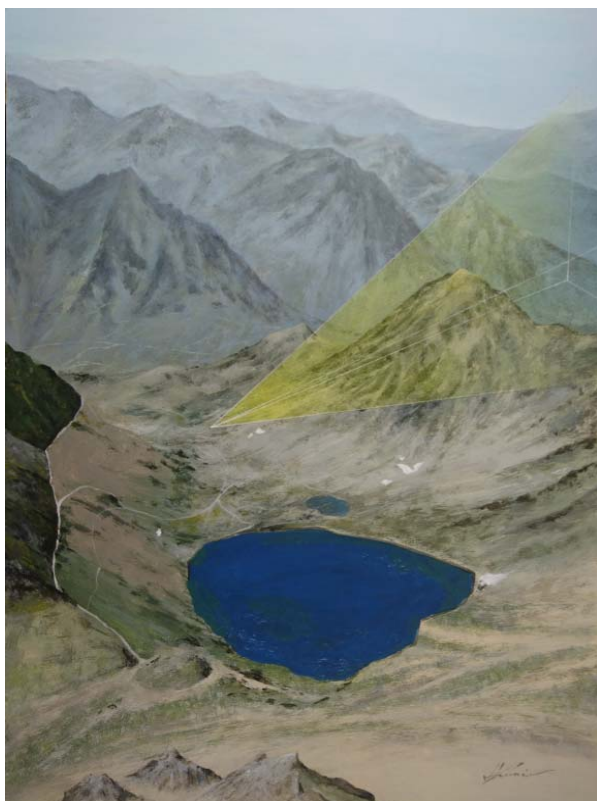


【木村政雄「宇宙を想定したデジタルアート」】バックの絵柄は、位相空間、ワームホール、ダークマター、ブラックホールなどを表現。また、紐理論を提示しています。中央のグリーンとブルーの円は森林と地球の海を示し、周りを取り巻くように粒子が飛び交うのはミュオンを示しています。

プロの ミュオグラフィアート

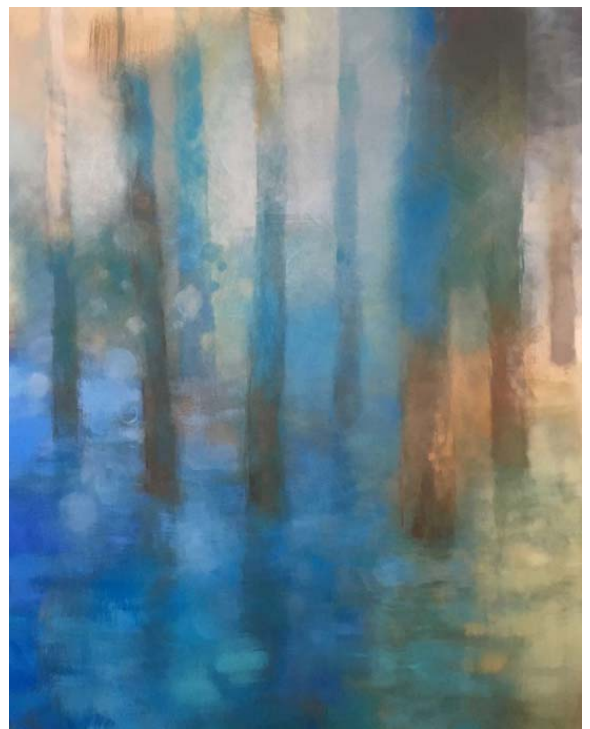


【橋本浩子「水と木とミュオン」】
ミュオグラフィアート展2019で人気のあった作品のひとつです。油絵ですが、さわやかなタッチで描かれています。水に佇む木立のようにひっそりとミュオンは命を爆発させる時を待っています。



【久本茉希「ビーガンレザーアート」】

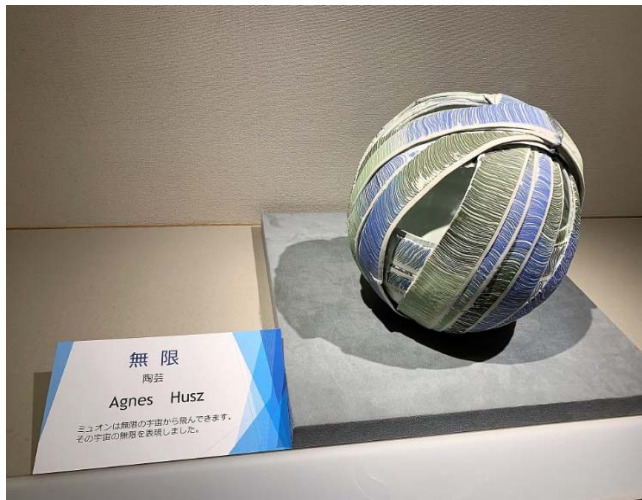
X線はレントゲン線とも呼ばれ、医学においては病気の診断に使われています。一方、ミュオンはX線で撮影できない巨大物体を透視することができます。ミュオグラフィの技術を使えば人が容易に立ち入り調査できない巨大な古墳を透視でき、考古学への貢献が期待できます。この作品では、ゾウをX線で透視した図、古墳をミュオンで透視した図をイメージし、人工皮革（ビーガンレザー）を用いて表現しています。



【堀井文夫「‘19ビック・デュ・ミディより南フランス・モンジー」】

堀井文夫画家が南フランスを旅したときに出会った自然の風景。美しい山をミュオグラフィで透視したら何が見えるかを想像しながら、透視のイメージを書き入れています。

プロの ミュオグラフィアート



【アーグネス・フス「無限」】

アーグネス・フスはハンガリー生まれ、長野県在住の陶芸家。ミュオンのもとになる素粒子は、無限のかなたから飛んできます。それを陶芸で表現。有田の土を使用。銀つぎ技術も使っています。

【松田美津雄「未来の光」】

この作品は、京の鹿の子絞という伝統芸術で制作しています。応接間あるいは寝室などに飾ると癒しの空間を提供できるランタンです。素粒子物理学で有名な「チェレンコフ効果」似ているとか超新星Supernovaに似ているとの議論がなされています。



【中村和可「ミュオンは見る！」】

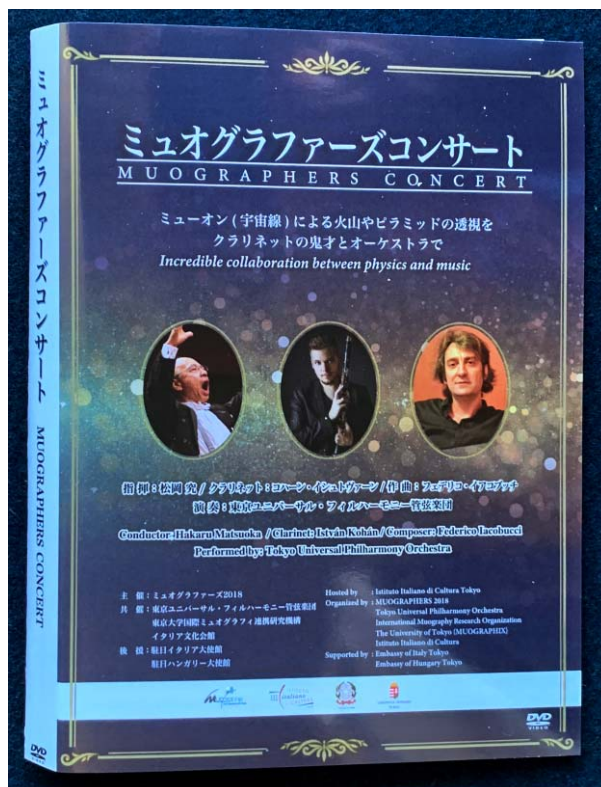
宇宙から飛んでくるミュオンは、巨大物体の内部を通過することによって、その内部構造を透視できる可能性を持っています。 作者は、ミュオンがすべての巨大物体を見ることができるという想像からこの立体アートを制作しています。

ミュオグラフィのサウンド インスタレーションと交響曲



【オトグラフ（井浦崇&大島幸代）“tamakagiru”】

この作品は、万葉集で用いられた枕詞「玉響(たまかぎる)」とミュオンをモチーフにしています。「玉響」は奈良時代には“宝玉などが淡く光を放つ”という意味で視覚的イメージを表していたようですが、のちに訓みが「たまゆら」へと変化して“宝玉が触れ合うようなかすかな響き”などの聴覚的なニュアンスを含むようになりました。さらに転じて、現代では“一瞬”“かすか”といった意味の副詞として残っています。一方、宙(そら)から飛来して一瞬で物質を通過するミュオンは、肉眼で見ることはできませんが、光に変えて解析することで、ものの内部を透視して従来までの見え方を変えてゆきます。その素粒子の輝きと古代の言葉の記憶を作品世界で重ねたとき、自然の中にかすかなものの存在を認め、捉えようとする人間の眼差しと探求心が浮かび上がるのです。2018年多摩美術大学美術館の展示会場では、ミュオンをモチーフとした静かなかつ宇宙の壮大さを感じさせるような音響が流れました。

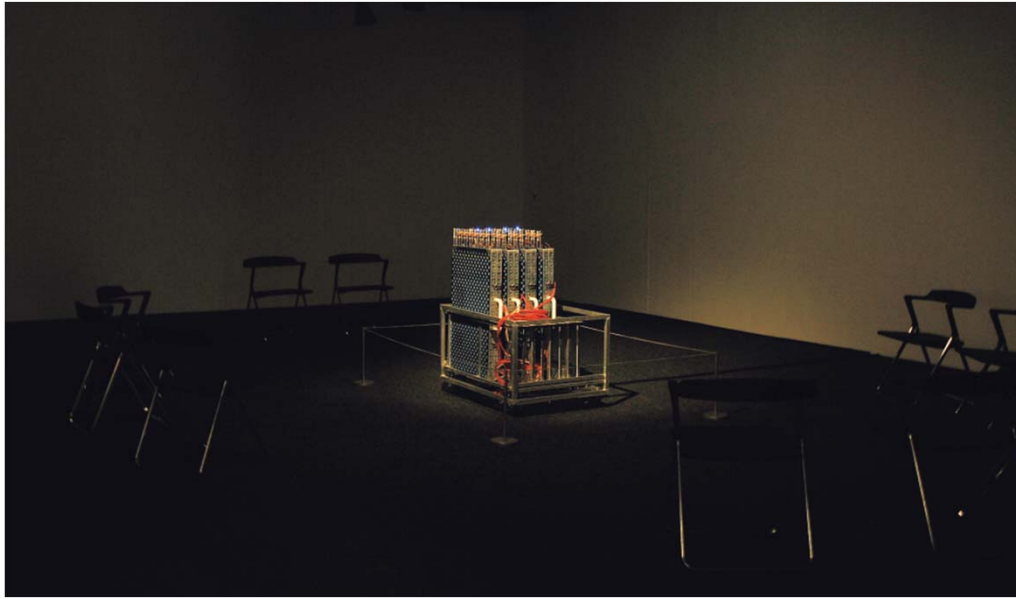


【フェデリコ・イアコブッチ「ミュオグラフィ交響曲」】

彼は、2018年ミュオンやミュオグラフィをベースに交響曲を作曲しました。この交響曲を指揮者松岡究氏率いる東京ユニバーサル・フィルハーモニー管弦楽団にてミュオグラファーズ2018主催の「ミュオグラファーズコンサート」が東京にて開催されました。写真はその時の様子を収録したDVDです。

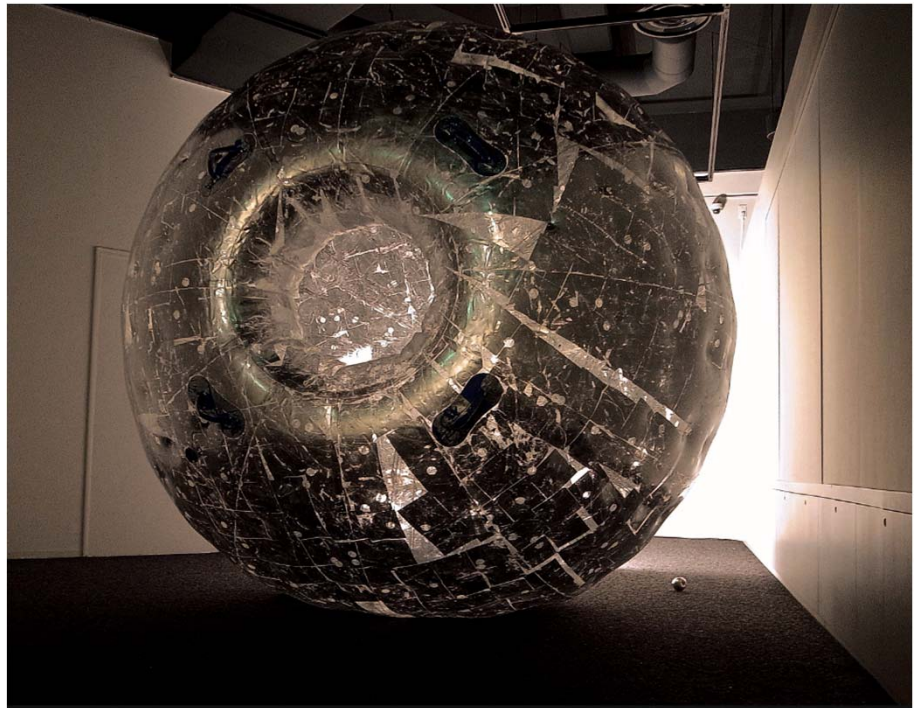
空間設計

ミュオグラフィアート



【Muography Live Experience, Collaboration with 久保田晃弘】

2018年に多摩美術美術館で開催された「宇宙に訊ねよ」展では、展示室にミュオンの観測機器を設置しました。開催期間中、ミュオンが美術館の躯体を突き抜けて装置に突入すると上面に設置した青色のLEDひかり、ふしぎな空間を体験できました。（写真：後藤天）



【市川裕司 「天球儀Ⅱ」 多摩美術大学美術館にて2018年展示作品】

一枚の葉を手にとって陽に透かすと、緑の色彩が失われ内部に広がる葉脈が浮び上がります。そこには日常に潜むもう一つの世界を覗き見た、小さな発見と感動があります。このような、世界の内にある姿を表そうとする探求心が、ミュオグラフィとアートの共通項の一つだと思います。（多摩美術大学美術館「宇宙に訊ねよ」より）

学生の ミュオグラフィアート



【小阪美咲「透過力 ミュオンはどのくらい降ってくるのか？」】

宇宙のかなたで発生した素粒子が地球の大気圏に突入するとミュオンが発生します。それが、寝ているうち（約8時間で）に人の体を100万個通り抜けます。

作者コメント：ミュオンの特徴は何よりもその透過力だと思います。ミュー粒子は宇宙放射線が大気に衝突して生じるものであり、地上では手のひらに毎秒1個やってきます。この絵はそういったミュオンの性質に着目し、表現しました。

【大曾 初音「輝き」】

作者コメント：2019年7月6日に日本最大の前方後円墳である仁徳天皇陵古墳（大山古墳、堺市）を含む大阪府南部の百舌鳥（もず）・古市古墳群の世界文化遺産へ登録されました。これから更に注目され、研究が進み、ミュオグラフィと共に世界へ羽ばたいていくでしょう。この作品は、展示会のチラシの下絵にも使いました。



【大塚晴乃「ぼくらのまなざし 桜島」】

作者コメント：桜島にまるで雨のように降り注ぐミュオンたち。宇宙と大地のもつ神秘と力強さはいつの時も人間に夢とロマンを見せてくれます。

学生の ミュオグラフィアート



【畑 美沙樹「地球へのプレゼント ミュオンの妖精」】

作者コメント：宇宙から地球へと、休みなく届き続けるミュオン粒子。目には見えな
いけれど、あなたのそばにもいつも居ます。

【西口 桃「慈雨」】

作者コメント：絶え間なく降り注ぐ光線のシャワーは1秒間に数百回も身体を通り抜け、宇宙へと帰っていきます。新たな発見をもたらしてくれるミュオンは恵みの雨になるでしょう。



【仁司朋花「解－SOLUTION－」】

作者コメント：この絵は、ピラミッドの今まで誰にも解くことができなかった謎が、宇宙から降ってくるミュオンがカギとなって、解き放たれていく様子表現しています。もしかすると今まで誰も知らなかった新しい部屋を見つけることができるかもしれない、という無限大な可能性やワクワク感を出すために、カラフルなミュオンにしてみました。



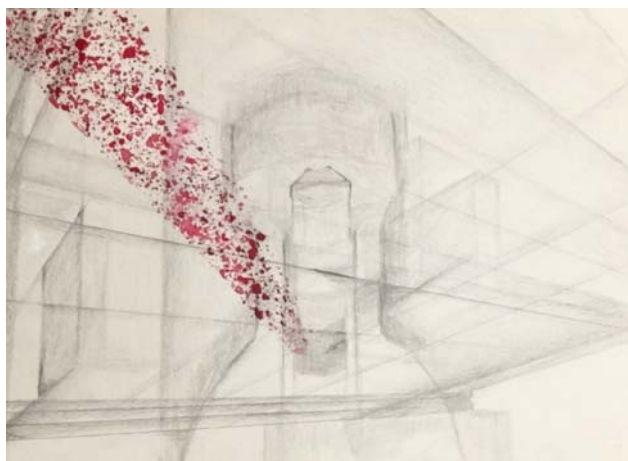
学生の

ミュオグラフィアート



【村岡あず美 “_affections”】

作者コメント：宇宙からやってくるミュオン。ミュオンたちはミュオグラフィの装置を通して、私達がまだ知らない世界のことを教えてくれる。地球に降り注ぐのはただの物質ではなくて、慈愛に満ちた優しさ。



【泉谷健太 “REMAINS”】

作者コメント：福島原発廃炉に向けてのミュオグラフィを使って透視した福島第一原発1号機の内部から着想を得ました。令和になっても福島原発は残る。ミュオグラフィがその解決になることを祈って。



【早瀬ゆりあ「休眠中の火山」】

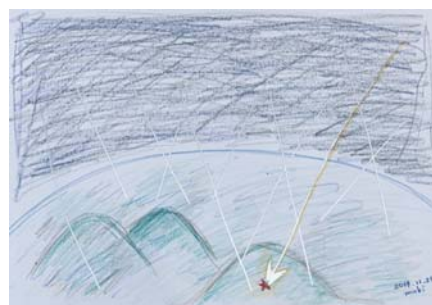
作者コメント：子供の頃夜に目が覚めたとき、天井にきらめくものがたくさん見えました。私はそれらがミューオンであったかのように感じます。この絵は子供の頃の私の想像力から来ています。

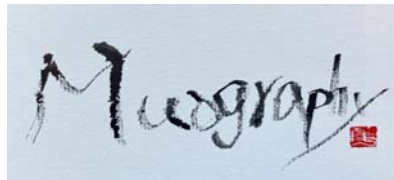
小学生の ミュオグラフィアート

2019年の秋にグランフロント大阪ナレッジキャピタルにて小学生のミュオグラフィアートのワークショップを開催しました。親子合わせて60数名の方が参加しました。その一部の作品を掲載します。



小学生の ミュオグラフィアート





ミュオグラフィの基礎とアート

発行日：2020.2.20

企画編集：角谷賢二

デザイン：橋本浩子

監修：田中宏幸 林武文

発行：ミュオグラフィアートプロジェクト

関係機関：東京大学国際ミュオグラフィ連携研究機構

関西大学総合情報学部

国際美術研究所

多摩美術大学美術館

ハンガリーウイグナー物理学研究センター

