

2種類のアート没入空間の心電データによる比較評価 Comparative Evaluation of Two Immersive Art Spaces Based on ECG Data

中津 良平[†] 土佐 尚子[†] 浦岡 泰之[‡] 北河 茜[‡] 村田 耕一[‡] 務中 達也[‡] 上田 祥行[†] 古田 雅史[‡]
野村 理朗[†]

Ryohei Nakatsu Naoko Tosa Yasuyuki Uraoka Aane Kitagawa Koichi Murata Tatsuya Munaka
Yoshiyuki Ueda Masafumi Furuta Michio Nomura

1. はじめに

アートは心を和ませたり奮い立たせるという効果を人に与える。しかし、アートの何がそのような力を持っているのか、言い換えればアートとは何かというのは答えるのが困難な問題である。アートは、Wikipediaによれば、"Art describes a diverse range of cultural activity centered around works utilizing creative or imaginative talents, which are expected to evoke a worthwhile experience"とある[1]。すなわち全体的な体験を与えてくれるものである。人々の生存に不可欠なものではないが、心を安らげたり深い思索へ導いたりし、重要な価値を持ったものである。一方で、人が何をどのような時に美しいと感じるのかは、重要な問題ではありながらまだ深い検討が行われているとは言えない。このような本質的な問題を検討することが重要と考えられる。

本論文では、アートの本質にアプローチするための試みの一つとして、アートを鑑賞する環境の違いが人にどのような影響を与えるかという問題を取り扱った。まず、アート鑑賞に適した2種類の性質の異なる没入空間を構築した。次に、その没入空間内でビデオアートコンテンツを鑑賞した際の被験者の心電データを測定し、複数の変動指標を導出し、それらを定性的に分析した。その結果、没入空間1では、交感神経活動・副交感神経活動のいずれも抑えられるという状況が生じていることがわかった。また没入空間2においては、副交感神経活動が優位であることがわかった。このことから、アート鑑賞における環境条件の違いが、人の生理に異なった影響を与えることがわかった。

2. 没入空間の構築

2.1 没入空間1の設計と構築

没入空間1は、鏡とディスプレイの両方の機能を持ったミラーディスプレイ[2]を用いた長方形の鏡で囲まれた六角形の空間である。そのコンセプトを図1に示す。

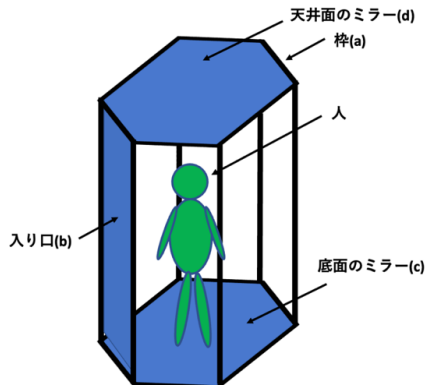


図1. 没入空間1の概念図

2.2 没入空間2の設計と構築

没入空間2は、ミラーディスプレイの代わりに4面の大型ディスプレイで周囲を囲んだ空間である。そのコンセプトを図2に示す。大型ディスプレイとしては77インチの有機ディスプレイを用いた。

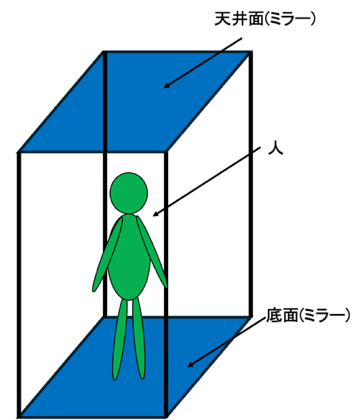


図2. 没入空間2の概念図

3. 生理データ計測・分析による没入空間1、2の比較実験

3.1 評価実験のコンセプト

没入空間1と没入空間2はディスプレイで囲まれたほぼ同じ大きさの空間である(幅:約1.5m、高さ:約2m)。没入空間1はミラーディスプレイで構築されており、没入空間2は大型ディスプレイで構築されているという特徴の違いは、没入空間内でアートなどのコンテンツを鑑賞する人に異なった印象を与える。具体的には、没入空間1は、鏡の効果によって無限に続く空間にいる感覚を与える。他方で自分の姿が映り込むので、人によっては没入感が減じると感じられる。没入空間2は、コンテンツに囲まれている感覚を持つが、無限に続く空間の感覚は与えられない。

このように、異なった特徴を持つ没入空間における生理データを比較することによって、アート鑑賞時の環境の違いが人の生理に与える影響の違いを知ることができる。これによって、アートの何が人に訴える力を持っているかという問題に対する一つの結果が得られることが期待される。

3.2 生理データの計測

本研究は、京都大学と島津製作所の共同研究として行われた。生理データを計測するために、島津製作所のHuME (Human Metrics Explorer) [3]と呼ばれる機器を用いた。HuMEは各種ウェアラブルデバイスを統合するための生理計

測システムである。本研究では、HuME デバイスを用いた心電計測、市販機器を用いた脳波計測、皮膚電気活動計測を行なった。計測したデータのうち、本論文では心電に着目しその分析を行なった。

3.3 評価実験に用いるデジタルアート「サウンドオブ生け花」

本研究において用いるアートコンテンツについて説明する。筆者の一人土佐は、絵の具などの流体に音の振動を与えてそれを高速度カメラで撮影することによって、流体が生け花のような形状を作り出すことを見出した。

スピーカーを上向きに置き、上に薄いゴム膜を張り、その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が作り出される。その様子を高速度カメラで撮影することによって、土佐は「サウンドオブ生け花」と呼ばれるデジタルアートを制作した[4][5]。図3は、作品の一シーンである。



図3. 「サウンドオブ生け花」の一場面

評価実験に用いるアートコンテンツは、この「サウンドオブ生け花」から切り出した3分間のビデオ映像（以下「土佐アート」と称する）を用いることとした。数多くのアート作品がある中で土佐アートをアートコンテンツとして用いたのは以下の理由による。

- (1) 土佐アートは、流体现象を高速度カメラで撮影するという手法によって制作される。これは、土佐アートが物理現象をベースとしていることを示している。そのため、アーティストの人手によって作り出されたアートに比較すると、評価という科学的手法との相性が良いと考えられる。
- (2) 流体现象をベースとしていることから、流体の種類や音の種類などのパラメータを変更することによって、種々のバリエーションを作り出すことができる。この点でも条件を変えて評価を行うという科学的手法と相性がいい。

3.4 比較コンテンツ

比較コンテンツとしては、円や四角形などの単純な幾何学図形から構成される幾何学図形コンテンツを用いた。予備実験を行い、複数の幾何学図形を心理実験により評価した結果に基づき、色と共に、形状が順に円と四角に変化する

幾何学図形コンテンツをアートコンテンツとの比較コンテンツとして用いることとした。

3.5 被験者

没入空間1と没入空間2は異なる被験者が評価した。没入空間1は京都大学の学生40名（男性32名、女性8名）が評価した。没入空間2は京都大学の学生52名（男性28名、女性24名）が評価した。

3.6 実験の手順

それぞれの被験者ごとの実験のプロセスは以下の通りである。心理評価実験と生理データ計測を同時に行うように実験プロセスを設計した。

- (1) まず実験の目的・内容を簡単に説明した後、被験者に同意書にサインしてもらう。
- (2) その後、被験者に没入空間へ移動してもらう。
- (3) 没入空間に移動後、コンテンツ1を見る前に被験者に最初の心理評価を行ってもらう。評価は Google Forms を使って行う。
- (4) コンテンツ1表示前に、被験者の状態をリセットするため、安静時間をとる（3分間）。この間、ディスプレイは黒画面としてある。
- (5) コンテンツ1の表示を行う（3分間）。
- (6) コンテンツ1観賞後、被験者に2回目の評価を行ってもらう。評価は Google Forms を使って行う。
- (7) コンテンツ2表示前に、被験者の状態をリセットするため安静時間をとる（3分間）。この間、ディスプレイは黒画面としてある。
- (8) コンテンツ2の表示を行う（3分間）。
- (9) コンテンツ2観賞後、被験者に3回目の評価を行ってもらう。評価は Google Forms を使って行う。
- (10) 実験終了後、被験者に没入空間から出てもらう。

コンテンツ鑑賞時および安静時間の間に、各被験者毎の生理データ計測を行う。手順をまとめて図4に示す。

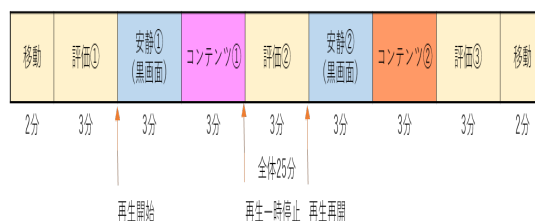


図4. 実験の手順

4. 心電データの解析結果

4.1 解析に用いた心電データ

本研究は、幾何学図形と土佐アートを比較して、異なる没入空間において被験者が土佐アートをどのように感じるかを生理データを用いて解析し、土佐アートと鑑賞条件の関係を明らかにすることを目的としている。

没入空間1に関しては、40名の被験者を対象として生理データ（心電、脳波、皮膚電位）を測定したが、3種のデー

タが揃って正常に測定できたのはそのうち22名であった。また没入空間2に関しては、52名のうち3種のデータが揃って正常に測定できたのは39名であった。心電、脳波、皮膚電位間の関係を分析することも計画しているので、3種のデータが揃って測定できた被験者(没入空間1:22名、没入空間2:39名)に絞って解析することとした。本論文では測定した生理データのうち心電データに着目して解析した。

4.2 心電データの解析手法

図5に心電図の基本的な形状を示す。



図 5. 心電図の形状

心電図から求められる、隣り合うR波の間隔(RRI)の周期的な揺らぎである心拍変動が、自律神経活動を反映している。そこで、RRI から得られる以下の心拍変動指数に注目した。

SDNN : RR 間隔の標準偏差

RMSSD : 隣接する RR 間隔の差の 2 乗平均根

pNN50 : 隣接 RRI の差が 50msec を超えた比率

HF : RR 間隔データを周波数解析した高周波成分

LF/HF : 低周波成分と高周波成分の比

これらのうち、SDNN、RMSSD、pNN50、HF は副交感神経活動の指標として用いられ、LF/HF は交感神経活動の指標として用いられている。これらはいずれも時系列データとして得られるが、今回は、3 分間提示される 4 種類のコンテンツ (図形: Figure、アート: Art、安静1に対応する無コンテンツ: Rest1、安静2に対応する無コンテンツ: Rest2) に対応するデータを、3 分間を 1 つの区間として平均した値を用いて比較を行った。

また、Rest2 における心電データは、その直前に鑑賞したコンテンツ (Figure もしくは Art) の影響を受けているため除外して、Rest1 (以降はRestとする)のみを用いることとし、Figure、Art、Rest の 3 条件における上記のデータの比較を行った。

4.3 2つの没入空間における個別の変動指標に関する比較

4.3.1 没入空間1に関する分析

副交感神経活動を示すとされる SSDN、RMSSD、pNN50、HF に関して、被験者に関する平均化を行いさらに分散分析(ANOVA)を行った結果を図6~図9に示す。

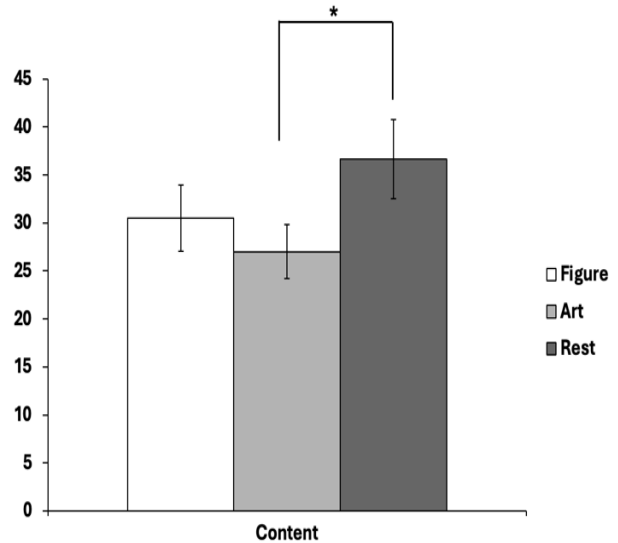


図 6. SSDN に関する平均値と分散分析結果

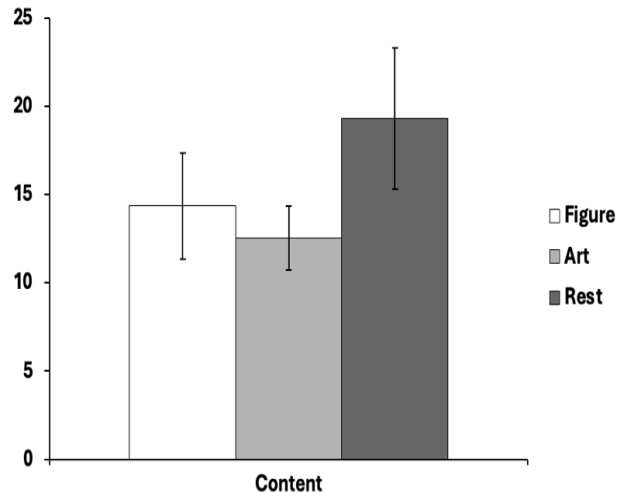


図 7. RMSSD に関する平均値と分散分析結果

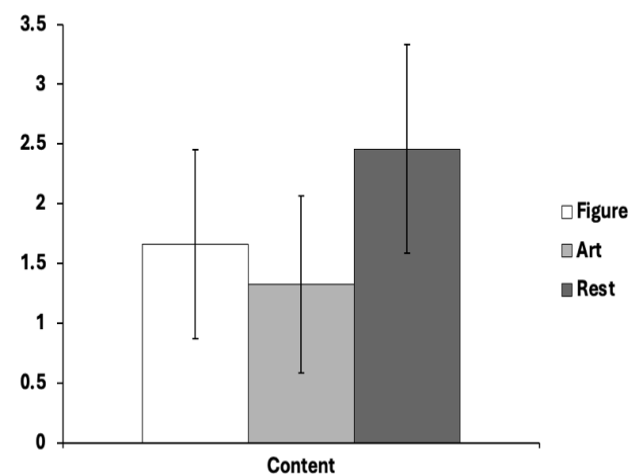


図 8. pNN50 に関する平均値と分散分析結果

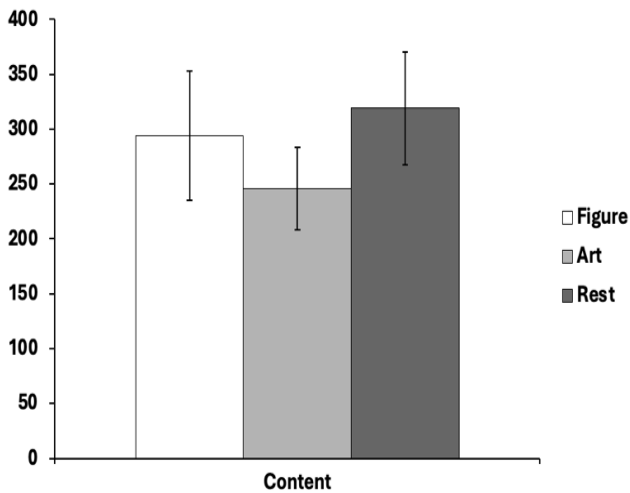


図 9. HF に関する平均値と分散分析結果

いずれも似た傾向を示している。これらをまとめて考察を加えると以下ようになる。

没入空間 1 でのアート鑑賞時には、SDNN、RMSSD、pNN50、HF のいずれの変動指標も、Art が Figure や Rest と比較して一貫して低下している。これらの指標は心拍変動性や呼吸性変動を反映し、リラックス状態や心の柔軟性と強く関連する。これらの値の低さは、没入空間 1 が視覚的に複雑で鏡による反射を伴うため、被験者が内的な静けさより注意力を維持した状態であったことを示唆している。結果として、癒しや感情的没入による副交感神経活動が抑制されたと考えられる。すなわち没入空間 1 は刺激的であり、生理的にはやや緊張を伴う環境であると言える。

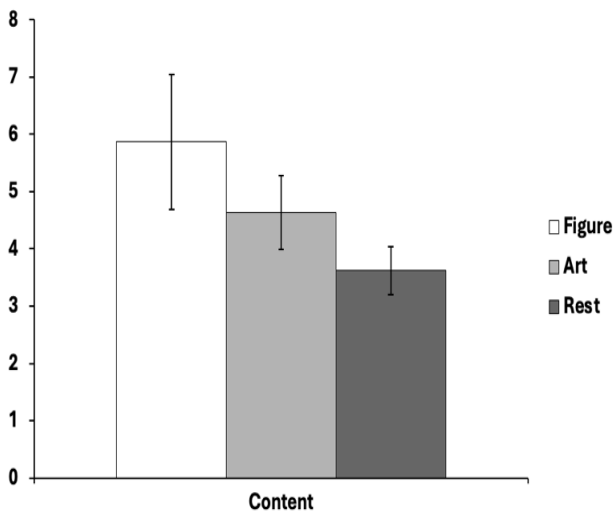


図 10. LF/HF に関する平均値と分散分析結果

次に交感神経活動を示すとされる LF/HF に関する結果を図 10 に示す。LF/HF に関する考察は以下の通りである。

LF/HF は、Art で Figure と Rest の中間的な値である。すなわち、Rest よりは交感神経活動が活発であり、緊張や覚

醒状態に近いが、Figure 鑑賞時ほどには交感神経活動は高まっていない。

没入空間 1 全体に関する考察は以下の通りである。

没入空間 1 では、Art に関する副交感神経指標 (SDNN、RMSSD、pNN50、HF) はすべて他条件よりも低い。一方交感神経活動を示す LF/HF 比は Rest よりは高いが Figure よりは低い。これらのことは、アートという刺激が本来持つ内省的・情緒的な効果が、没入空間 1 の構造的特徴によって相対的に抑制されていることを示唆している。言い換えれば、没入空間 1 が特徴としている鏡面による反射や視覚的な複雑さが、生理的に覚醒や緊張を引き起こしているが、同時にリラックスや没入も引き起こしている可能性がある。

一方で、ANOVA の結果から、Art、Figure、Rest 間の有意差はあまりないことは、個人差が大きいことも示唆している。

4.3.2 没入空間 2 に関する分析

副交感神経活動を示すとされる SSDN、RMSSD、pNN50、HF に関して被験者に関する平均化を行いさらに分散分析 (ANOVA) を行った結果を図 11～図 14 に示す。

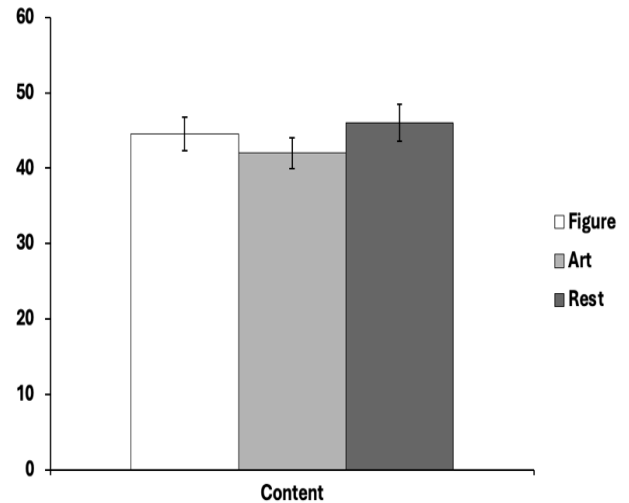


図 11. SSDN に関する平均値と分散分析結果

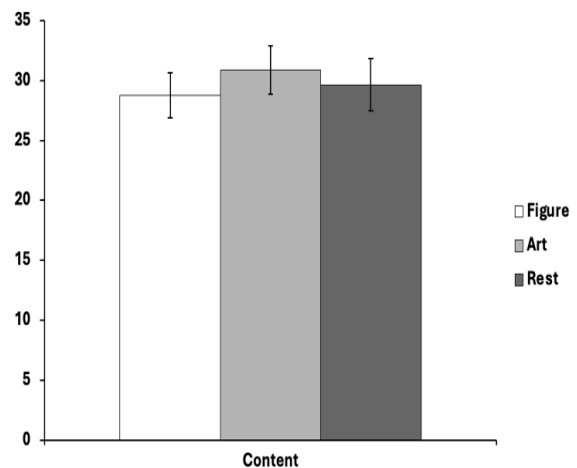


図 12. RMSSD に関する平均値と分散分析結果

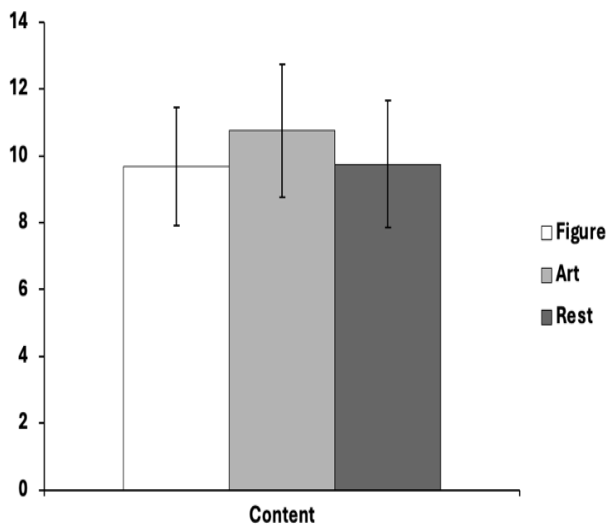


図 13. pNN50 に関する平均値と分散分析結果

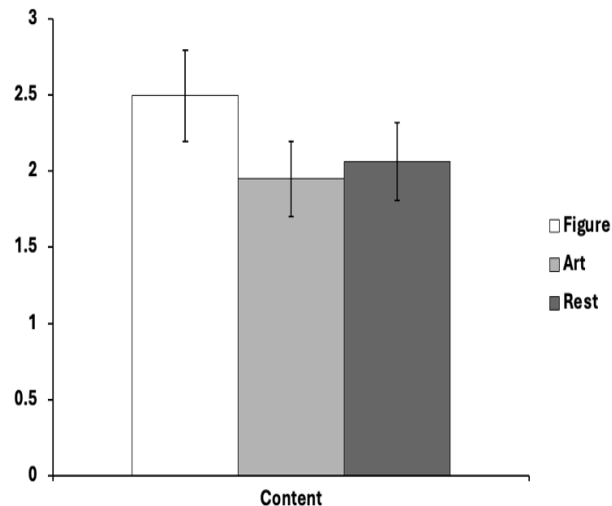


図 15. LF/HF に関する平均値と分散分析結果

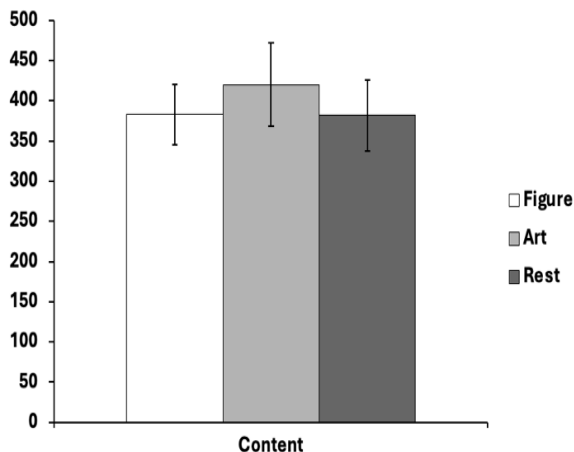


図 14. HF に関する平均値と分散分析結果

これらに関する考察は以下の通りである。

SDNN は Art で、Figure および Rest よりやや低い値を示している。SDNN は心拍間隔の全体的な変動を反映し、交感神経と副交感神経の両方の影響を受ける指標である。この数値の低下は、没入空間 2 でのアート鑑賞が長期的な心拍の変動性を抑え、安定した生理状態を促した可能性を示唆する。これは、没入的な映像と空間の一体感がもたらす集中状態により、外部への反応が減少した結果と考えられる。

RMSSD、pNN50、HF に関しては、いずれも Art が Figure や Rest より高い値を示しており、没入空間 2 でのアート鑑賞中に副交感神経活動が活性化していたことが明確に示されている。これらの指標は、呼吸性の変動や短期的な心拍調整に関連し、深いリラクゼーションや情緒的安定と強く結びついている。没入環境 2 は、視覚刺激と身体感覚を一体化させ、外部刺激を遮断することにより、被験者に安全で安心できる空間的体験を与えたと考えられる。その結果として、心拍が柔軟に変化し、深く整った呼吸が可能となるなど、副交感神経の働きが十分に発揮されたと解釈できる。

交感神経活動を示すとされる LF/HF に関する結果を図 15 に示す。これに関する考察は以下の通りである。

LF/HF は、Art で Figure や Rest より低い値を示している。これは、アート鑑賞中は副交感神経活動が優位であり、交感神経による緊張や覚醒状態が軽減されていることを意味する。特に、Art は Figure よりもはるかに低い LF/HF を示しており、幾何学図形のような単純な視覚刺激よりも深い心理的没入とリラクゼーションを誘発している可能性が高い。

没入空間 2 全体に関する考察は以下の通りである。

これらのデータから見て取れるのは、アート鑑賞中の自律神経活動が副交感神経優位のバランスにあることである。RMSSD、pNN50、HF のような副交感神経指標が全体的に高まっている一方で、LF/HF は低下しており、交感神経の緊張的影響が抑えられていると解釈できる。つまり、アート鑑賞は「心を落ち着かせつつ、情動的に刺激的な体験」を与えている。Figure や Rest ではこのようなバランスは見られず、特に Figure は視覚的注意を要するためか交感神経の活動が相対的に高くなっている。没入空間 2 におけるアートは適度な内的活動と生理的リラクゼーションを両立させていると考えられる。

同時に、没入空間 1 と同様に、どの指標においても Art、Figure、Rest 間の有意差があまりないことは、個人差を分析するなどのさらに詳細な分析が必要であることも示唆している。

5. まとめ

アートは人の心や体に種々の影響を及ぼす。アートが人の心や体に与える影響を心理学的手法、生理学的手法を用いて明らかにすることは、「アートとは何か」という問題にアプローチすることでもある。

筆者らは、没入感を与えやすくアートを鑑賞するのに適していると考えられる 2 種類の没入空間を構築した。一つはミラーディスプレイで囲まれた没入空間 1 である。もう一つは大型のディスプレイ (77 インチ有機 EL ディスプレイ) で囲まれた没入空間 2 である。

没入空間1は鑑賞者に、無限に続く空間内でコンテンツを鑑賞している感覚を与える。また没入空間2は鑑賞者に、全周をコンテンツで囲まれた空間にいる感覚を与える。このように特徴の異なる2種類の没入空間において、筆者の一人である土佐尚子によって制作されたビデオアートを被験者に鑑賞してもらい、その際の生理データ(心電データ、脳波データ、皮膚電位データ)を計測した。本論文では心電データに注目し、没入空間1と2において、SDNN、RMSSD、pNN50、HF、LH/HFの個々の変動指標に着目して、アートコンテンツ鑑賞時、幾何学図形コンテンツ鑑賞時、安静状態の3つの状態の比較を行いながら、詳細な観察に基づく定性的な分析を行った。その結果、以下のようなことがわかった。

- (1) 没入空間1におけるアート鑑賞：没入環境1におけるアート鑑賞では、副交感神経指標(SDNN、RMSSD、pNN50、HF)はすべて他条件(幾何学図形鑑賞、安静)よりも低い。また交感神経優位を示すLF/HF比は、幾何学図形鑑賞時より低く、安静状態より高めである。このことは、鏡の効果による無限空間でアートを鑑賞している際の感覚として、覚醒や緊張状態を引き起こしたことを示唆している。
- (2) 没入空間2におけるアート鑑賞：アート鑑賞は副交感神経優位の「心を落ち着かせつつ、情動的にも刺激的な体験」を与えている。つまりアートは適度な内的活動と生理的リラックスを両立させ、快適で豊かな心身状態を引き出していると考えられる。

このように、異なる特徴を持つ没入空間1と2は異なる生理的影響を人に与えていることがわかった。

しかし同時に、別途報告する心理評価結果の分析からは、没入空間1と2は心理に与える効果に有意な差はないという結果が得られている[6]。これは、生理指標と心理主観評価が一致しないという現象であり、非常に興味深い現象である。この点に関しては、今回の心電データの分析結果と心理評価結果の関係を詳しく分析することが必要である。さらに心電データに加え脳波データなどの生理データに関しても詳細な分析を行う予定である。

参考文献

1. Wikipedia: Art, <https://en.wikipedia.org/wiki/Art>
2. Ryohei Nakatsu, Naoko Tosa, Satoshi Niiyama, Takashi Kusumi, "Evaluation of the Effect of Art Content on Human Psychology Using Mirror Display with AR Function," *Nicograph International* 2021, pp.54-61 (2021).
3. Akane Kitagawa, Yasuyuki Uraoka, Masafumi Furuta, Tatsuya Munaka, "Human Metrics Explorer System for Multi-Device Physiological Measurements in Emotion Estimation," *SII* 2024, pp.184-189 (2024).
4. 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*, pp.136-142 (2017).
5. Yunian Pan, 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).
6. 中津良平、土佐尚子、浦岡泰之、北河茜、村田耕一、務中達也、上田祥行、古田雅史、野村理朗「2種類の

アート没入空間の心理実験による比較評価」FIT2025講演論文集(2025).