

画像視聴時における映像規格の違いが生体信号に与える癒やし効果の分析 Analysis of Healing Effects on Biomedical Signals by Changing Video Standard When Viewing Images

篠原 未歩[†] 石井 英里子[‡] 山田 光穂[†] 星野 祐子[†]
Miho Shinohara Eriko Ishii Mitsuho Yamada Yuko Hoshino

1. はじめに

映像の高品質化は著しく、様々な分野で高精細化技術が応用されている。特に、放送インフラにおけるTVの高精細化に関しては、2018年12月に4K・8K番組の放送が開始されるなど、自宅でも高精細映像を楽しめる情報メディア媒体の普及が広がっている。それに伴い、映像の品質を左右する要素（解像度、ビット深度、フレームレート、色域、輝度）も向上しており、高精細な映像規格が登場している。フルHDで標準化されている規格BT.709では、色域Rec.709と輝度SDR(Standard Dynamic Range)が採用されている。また、4K・8K番組に対応している超高精細度テレビジョン(UHDTV)には、色域Rec.2020などBT.709よりも高精細な要素を含む規格BT.2020が標準化されている。さらに、BT.709とBT.2020では実現できなかった高輝度HDR(High Dynamic Range)を組み合わせた規格BT.2100が登場しており、より人が目で見える世界に近い明暗を表現することを可能とした。

新型コロナウイルスの影響で旅行や観光が難しい状況である現代においても、高精細映像技術を利用し、観光地のオンラインツアーや地域のプロモーション用ビデオを制作・配信することで、視聴者がストレスフリーかつ実際に足を運んだような気分になれると考えている。また、様々なことに制限がかかっている環境の中で、高精細な映像がストレス緩和につながると考えている。そこで、高精細映像の視聴がもたらす癒やし効果について検討するため、先行研究[1]において、ディスプレイ解像度の違いに着目し、2Kと4Kでの比較を行った。その結果、4Kにおける自然映像視聴時に、被験者の心拍数・呼吸数を安静時と同等の変動にさせ、皮膚温度が上昇した。このことから、副交感神経が優位に働き、リラックス状態になっていると考えられ、高解像度な映像視聴が癒やし効果をもたらす可能性を示した。本研究では映像規格の違いに着目し、生体信号に与える癒やし効果について比較・検討を行った。

2. 実験内容

2.1 計測装置

癒やし効果について検討するため、先行研究[1]と同様に、自律神経系の指標として生体情報（心拍数、呼吸数、脳血流動態、皮膚温度）の計測とアンケートによる主観評価を行った。生体情報計測装置は、可能な限り被験者への直接的な装着を避け、軽量のデバイスを選定することで、計測器の装着が被験者の負担にならないよう配慮した。実験中、被験者を自動車用の座席LX-F(株)RECARO)に座ら

せ、背もたれ部分に設置したエアパッド型の呼吸心拍計SK-01(株)スキノス)で心拍・呼吸振動信号を計測した。SK-01は超低周波用圧力センサと空気動圧センサシステムを内蔵しているため、被験者が実験器具の装着感を減らした状態で心拍数と呼吸数を求められる。また、SDRと比べてHDR映像を視聴している際に、脳の前頭前野活動が落ち着き、高精細な映像をリラックスしながら楽しんで視聴していると示唆されている[2]。そこで、脳血流動態を計測するため、計測装置には小型な脳活動計測装置HOT-1000(株)NeU)を使用し、被験者の前額部に装着した。さらに、リラックスすると副交感神経が活発に働いて皮膚温度が上がり、緊張や不安を感じると交感神経が活発に働いて皮膚温度が低下する[3]。被験者の皮膚温度を測定するため、被験者の視界に入らないよう足元から、被験者の顔の皮膚温度を小型熱画像センサTP-L02E(株)CHINO)で計測した。主観評価用のアンケートには、メンタルワークロードチェックリスト[4]を使用した。アンケート項目には26の質問があり、被験者には7段階評価(-3~3)で回答してもらう。また、その結果は精神負担、身体負担、時間圧力、作業成績、努力、フラストレーション6つの項目に分けることができる。

2.2 実験環境

広色域Rec.2020と高輝度HDRに対応しているColorEdge CG279X(EIZO)ディスプレイを使用して実験画像を提示した。実験環境は視距離を60cm、部屋の照度を2.66lux、部屋の温度を24℃とした。ディスプレイ最高輝度はBT.2020表示時が6.782E+01cd/m²、BT.2100表示時が1.150E+02cd/m²、BT.709表示時が7.707E+01cd/m²である。実験は「安静状態(3分)→画像①(5分)→画像②(5分)→安静状態(3分)→メンタルワークロードチェックリストの記入」を1セットとして、映像規格ごとに実施した。また、順序効果を配慮し、実験画像の種類と映像規格の順番は被験者ごとに順番を入れ替えた。被験者は色覚異常のない視力0.7以上(矯正視力を含む)を対象とし、本学学生12名(男性:9名、女性:3名)で行った。実験は東海大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会規定に従い実施した。

本研究で採用した映像規格BT.2100、BT.2020、BT.709の映像品質を左右する要素（解像度、ビット深度、フレームレート、色域、輝度）について、表1にそれぞれ特徴をまとめる。BT.2020はUHDTVやUHD BDで標準化されており、解像度とビット深度、フレームレート、色域がBT.709と比べると広範囲で表現でき、なめらかで鮮やかな色彩を再現可能としている。さらに、BT.2020でも採用されている広色域Rec.2020に加えて、輝度SDRの約100倍の明るさを表現できるHDRを組み合わせた映像規格BT.2100は、人間の目で認識する陰影を表現し、実際に見る景色のよう

[†] 東海大学 大学院 情報通信学研究科 Graduate School of Information and Telecommunication Engineering, Tokai University

[‡] 鹿児島県立短期大学 Kagoshima Prefectural College

な実物感が強い映像を表現可能としている。また、BT.2100 には PQ 方式 (Perceptual Quantization) と HLG 方式 (Hybrid Log Gamma) があり、前者は映画・Web 配信向けの再現性の高いガンマカーブ、後者はテレビ放送・ライブ中継向けの SDR テレビと互換性のあるガンマカーブが利用されている。本研究では、映像規格 BT.2100 (HLG 方式)、BT.2020、BT.709 を使用して実験を行った。

表 1 映像規格の特徴

	BT.709	BT.2020	BT.2100
解像度	フル HD	4K/8K	4K/8K, HDR
ビット深度	8bit	10/12 bit	10/12 bit
最大 fps	60p	120p	120p
色域	Rec.709	Rec.2020	Rec.2020
輝度	SDR	SDR	HDR

2.3 提示刺激

提示刺激は、レンズ Vario-Tessar T* FE 24-70mm F4 ZA OSS を取り付けた一眼レフカメラ α 7RIII ILCE-7RM3 (SONY) で、花・木を中心とした自然風景 (以下、花画像表記) と動物が自然の中にある風景 (以下、動物画像表記) を撮影した。また、カメラを色域 Rec.2020 対応のオート HDR 設定かつレンズを絞込んだ状態 (絞り値 F22) で撮影し、色再現性が高く被写界深度が深い画像を用意した。また、花画像 (図 1) と動物画像 (図 2) は 10 枚ずつ用意し、1 枚につき 10 秒間表示させた。そして、画像を 3 ループ提示し、花画像と動物画像それぞれ被験者に 5 分間視聴させた。色の知覚は人の感情や振る舞いに影響を及ぼすとされており、赤色は交感神経の活性化作用、緑色は感情的反応の鎮静効果、青色は自律神経の鎮静作用があると報告されている[5]。そのため、提示刺激の選定は赤・緑・青色を中心に、色域 Rec.2020 で再現可能な最大の色を含む画像を選んだ。



図 1 花画像



図 2 動物画像

3. 結果と考察

SK-01 で計測した心拍・呼吸振幅変化および心拍数・呼吸数、HOT-1000 で計測したヘモグロビン (Hb) 濃度変化 (以下、Hb 変化表記)、TP-L02E で計測した皮膚温度は、花・動物画像視聴時における 1 分ごとの平均値を求めた。また、基準値として画像視聴前の一度目の安静状態の平均値を求めた。そして、その基準値+標準偏差 (SV+SD: Standard Value+Standard Deviation) よりも画像視聴時における 1 分ごとの平均値が大きければ 1、小さければ 0 と判別した。さらに、統計的解析としてカイ二乗検定 (有意水準 5%) を行うため、判別した合計/2 を期待値と設定した。

3.1 心拍呼吸

画像視聴時における 1 分ごとの心拍・呼吸振幅変化、心拍数、呼吸数の平均値と SV+SD の比較した結果を表 2 に示す。また、表の「>SV+SD」欄は、画像視聴時の平均値が SV+SD よりも大きくなった被験者数、「<SV+SD」欄は小さくなった被験者数を示している。

表 2 SV+SD と比較した結果 (被験者数)

	映像規格	画像	>SV+SD	<SV+SD
心拍振幅変化	BT.2100	花	9	3
		動物	9	3
	BT.2020	花	10	2
		動物	9	3
	BT.709	花	9	3
		動物	9	3
呼吸振幅変化	BT.2100	花	4	8
		動物	6	6
	BT.2020	花	4	8
		動物	7	5
	BT.709	花	4	8
		動物	7	5
心拍数	BT.2100	花	3	9
		動物	2	10
	BT.2020	花	2	10
		動物	2	10
	BT.709	花	2	10
		動物	3	9
呼吸数	BT.2100	花	8	4
		動物	7	5
	BT.2020	花	5	7
		動物	6	6
	BT.709	花	8	4
		動物	8	4

画像視聴時の心拍振幅変化の結果 (表 2)、映像規格および画像の種類の違いによる影響は少なく、全ての条件において SV+SD よりも高くなる傾向にあった。また、画像視聴時の心拍数は、振幅変化とは逆に SV+SD よりも心拍数が減る傾向にあった (表 2)。これは、被験者が興味や関心が高まった状態で画像を視聴したことで心拍振幅変化が高くなり、被験者が得た負担が少なく副交感神経が刺激されたことで心拍数の低下[6]に繋がったと考えられる。さらに、心拍数の変化は覚醒の低下に影響されるため[7]、心拍数が減少したことから、自然画像の視聴そのものが被験者の気持ちを和らげる効果があったと示唆された。

一方で、呼吸振幅変化は映像規格の違い問わず、花画像視聴時では SV+SD よりも小さくなり、動物画像視聴時では高くなる被験者が多い結果となった (表 2)。また、BT.2100 と BT.709 の画像視聴時における呼吸数は、映像の種類に関係なく、SV+SD よりも増える傾向にあった (表 2)。しかし、BT.2100 の画像視聴時においては、花画像視聴の呼吸数が SV+SD よりも少なくなる傾向にあった (表 2)。さらに、カイ二乗検定の結果、心拍振幅変化と心拍数においては映像規格と画像の種類全ての組み合わせで有意差が認められたが、呼吸振幅変化と呼吸数においては有

意差は認められなかった。このことから、被験者がストレス度の低い状態で画像を視聴し、安静状態のそれらと同じような呼吸の変化をもたらされたことを示唆している。

3.2 脳血流動態

Hb 変化のカイ二乗検定の結果、BT.2100 の動物画像視聴時における右脳で有意差が認められ、それ以外の組み合わせでは有意差は認められなかった。この結果は、被験者 12 名中 10 名の BT.2100 における動物画像視聴時の右脳 Hb 変化が SV+SD よりも少なかったことが影響したと考えられる。また、分散分析の結果 (3.4. 参照) から、BT.2100-BT.2020 間・BT.709-BT.2020 間において動物画像・右脳に有意差があることが確認された。

カイ二乗検定および分散分析において、効果が確認された BT.2100 の動物画像視聴時の Hb 変化に着目する。被験者 3 名の場合 (図 3)，右脳の Hb 変化 (破線) が左脳の Hb 変化 (実線) よりも高い傾向にあった。以上の結果より、BT.2100 の動物画像を視聴している際に、五感などの感覚から得た情報を処理する右脳が活発である傾向にあったことは、色再現性の高い画像ほど被験者の感性が豊かになり、穏やかに画像視聴ができていたと考えられる。

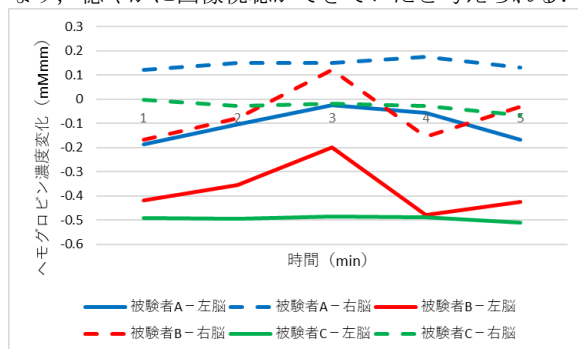


図 3 BT.2100 の動物画像視聴時における Hb 変化 (被験者 A, B, C)

3.3 皮膚温度

皮膚温度のカイ二乗検定の結果、BT.2100 の動物画像視聴時と BT.2020 の花画像視聴時における皮膚温度について、有意差が認められた。この結果は、被験者 12 名中 10 名が BT.2100 における動物画像視聴時の皮膚温度変化が SV+SD よりも高かったこと、被験者 12 名中 9 名が BT.2020 における花画像視聴時の皮膚温度が SV+SD よりも低くなったことが影響したと考えられる。

脳血流動態の結果に続き、皮膚温度でもカイ二乗検定で動物画像視聴時に有意差が認められたため、被験者 B を例に動物画像視聴時の皮膚温度変化を紹介する。図 4 より、SV+SD (グレー線) よりも全ての映像規格 (BT.2100; 水色線, BT.2020; 赤線, BT.709; オレンジ線) が高い温度であることがわかった。中でも、BT.2100 における動物画像視聴時 (水色線) に最も高い皮膚温度を計測しており、一時的なものではなく継続して SV+SD よりも高い皮膚温度を維持していた。皮膚温度の上昇は、人がリラックスした状態になり、副交感神経が活発になっていることを示しているため[3]、映像規格 BT.2100 の広色域・高輝度な映像品質で、今回の動物画像を視聴することにより、リラックスしている可能性が高いことを示唆したと考えられる。

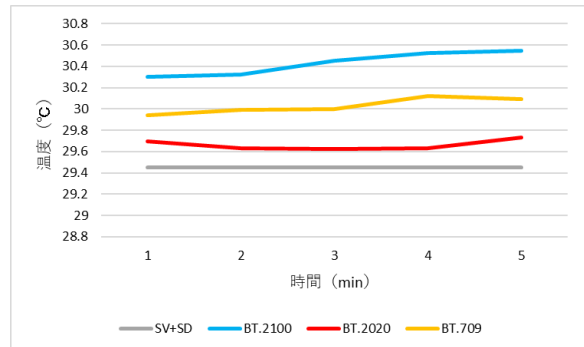


図 4 各映像規格における動物画像視聴時の皮膚温度 (被験者 B)

3.4 分散分析

心拍数と呼吸数、皮膚温度は、[A]画像の種類 (花画像・動物画像) と [B]映像規格の種類 (BT.2100・BT.2020・BT.709) の 2 要因分散分析 (有意水準 5%) を行った。また、Hb 変化は [A]画像の種類 (花画像・動物画像) と [B]映像規格の種類 (BT.2100・BT.2020・BT.709) と [C]前頭葉の部位 (左脳・右脳) の 3 要因分散分析 (有意水準 5%) を行った。分散分析には、各生体情報 (心拍数、呼吸数、Hb 変化、皮膚温度) の画像視聴時における 1 分ごとの平均値に関して、基準値からの変化率を利用した。

心拍数において、[A]、[B]、[A]×[B]の交互作用で有意差は認められなかった。また、呼吸数と皮膚温度は [B]において有意水準 5% (呼吸: $F(2, 118)=3.199$, 皮膚温度: $F(1, 118)=3.266$) で有意差が認められた。そのため、それぞれ [B]の主効果における多重比較 (Ryan 法, 有意水準 5%) を行ったが、BT.709-BT.2020 間, BT.709-BT.2100 間, BT.2100-BT.2020 間で効果は認められなかった。

Hb 変化の結果 (表 3), [B]において有意水準 5% で有意差が認められたため、[B]の主効果における多重比較 (Ryan 法, 有意水準 5%) を行った。その結果、5%水準 (名義的有意水準: 0.0166667) で BT.2100-BT.2020 間に有意差が認められた (p 値: 0.0111209)。また、[A]×[C]の交互作用において有意水準 5% で有意差が認められたため (表 3), 交互作用における単純主効果の検定を行った。その結果、有意水準 0.5% で [A]における右脳 ($F(1, 118)=9.691$), 有意水準 5% ($F(1, 118)=6.158$) で [B]における動物に効果が認められた。

表 3 より、有意水準 0.5% で [A]×[B]の交互作用に有意差が認められたため、交互作用における単純主効果の検定を行った。その結果、有意水準 0.1% で [B]における動物に有意差が認められた ($F(1, 236)=9.674$)。さらに、[B]における動物の主効果における多重比較 (Ryan 法, 有意水準 5%) を行った結果、5%水準 (名義的有意水準: 0.0166667) で BT.2100-BT.2020 間に有意差 (p 値: 0.0000828), 1%水準 (名義的有意水準: 0.0333333) で BT.709-BT.2100 間に有意差 (p 値: 0.0004224) が認められた。

さらに、Hb 変化では [A]×[B]×[C]の交互作用に有意水準 0.1% で有意差が認められ、交互作用における単純主効果の検定を行った。その結果 (表 4), [B]における動物・右脳に有意水準 0.1% で有意差が認められた。そこで、[B]における動物・右脳の主効果における多重比較 (Ryan 法, 有意水準 5%) を行った結果 (表 5; s.: significant, n.s.: not

significant), 5%水準(名義的有意水準: 0.0000001)でBT.2100-BT.2020間に有意差(p値: 0.0000828), 1%水準(名義的有意水準: 0.0000014)でBT.709-BT.2020間に有意差(p値: 0.0004224)が認められた。

表3 Hb変化の分散分析の結果(*: p<0.05, ***: p<0.005, ****: p<0.001)

要因	F値
[A]画像	F(1, 118)=4.716*
[B]映像規格	F(2, 118)=3.824*
[C]前頭葉の部位	F(1, 118)=1.484
[A]×[B]	F(2, 118)=6.641***
[A]×[C]	F(1, 118)=4.996*
[B]×[C]	F(2, 118)=0.651
[A]×[B]×[C]	F(2, 118)=14.719****

表4 Hb変化の[A]×[B]×[C]の交互作用における単純・単純主効果の検定(*: p<0.05, ****: p<0.001)

要因	F値
[A]-BT.2100, 左脳	F(1, 354)=0.489
[A]-BT.2100, 右脳	F(1, 354)=0.407
[A]-BT.2020, 左脳	F(1, 354)=1.752
[A]-BT.2020, 右脳	F(1, 354)=46.720****
[A]-BT.709, 左脳	F(1, 354)=0.023
[A]-BT.709, 右脳	F(1, 354)=0.026
[B]-花, 左脳	F(2, 472)=1.570
[B]-花, 右脳	F(2, 472)=1.504
[B]-動物, 左脳	F(2, 472)=0.022
[B]-動物, 右脳	F(2, 472)=17.959****
[C]-花, BT.2100	F(1, 354)=0.544
[C]-花, BT.2020	F(1, 354)=5.470*
[C]-花, BT.709	F(1, 354)=0.003
[C]-動物, BT.2100	F(1, 354)=0.183
[C]-動物, BT.2020	F(1, 354)=22.787****
[C]-動物, BT.709	F(1, 354)=0.004

表5 [B]-動物, 右脳の主効果における多重比較

要因	名義的有意水準	p値	Sig.
BT.2100-BT.2020	0.0166667	0.0000001	s.
BT.2100-BT.709	0.0333333	0.5829880	n.s.
BT.709-BT.2020	0.0333333	0.0000014	s.

3.5 メンタルワークロード

メンタルワークロードチェックリストで得られた結果は、各被験者で項目ごとにスコアを集計して平均値を算出した。そして、その平均値を利用して、各項目で一元配置分散分析(有意水準5%)を行った。その結果、どの被験者においても、有意差が認められる項目はなかった。チェックリストで得られるスコアは、その項目に対する負担の大きさ(ストレス度)と比例している。そのため、被験者ごとに各項目において、チェックリストで得られたスコアを映像規格間で比較した。その結果、メンタル面への影響や顕著な傾向などは、ほとんどの項目において違いはなかった。しかし、被験者12名中7名がフラストレーションの項目で、BT.709の画像視聴時にスコアが最も高く、視聴に対す

るストレス度が高いことを示した。以上のことから、映像規格BT.709と比較すると、映像規格BT.2100やBT.2020などの広色域・高輝度な高品質の画像は、実際に人間が見る景色のように色再現性が高く、よりストレス度の低い状態で視聴することができることを示している。

4. おわりに

映像品質の向上化により、広色域・高輝度な映像規格が登場しており、公共施設のディスプレイや自宅など様々な場面で高精細映像を楽しむ機会が増えている。特に高精細な自然映像は視聴者に癒やしを与えるのではないかと考えている。そこで、画像視聴時における映像規格の違いが生体信号に与える癒やし効果の分析を行った。本研究では映像規格BT.2100・BT.2020・BT.709の自然画像を視聴している際の生体信号(心拍数、呼吸数、脳血流動態、皮膚温度)を計測し、比較・検討を行った。その結果、高精細な映像規格で視聴した際に感性的な右脳の脳血流動態変化に効果がみられ、さらには映像規格BT.2100で動物画像を視聴すると皮膚温度が安静時よりも高くなる傾向にあった。また、BT.709よりも広色域・高輝度な映像規格で視聴すると、主観的にフラストレーションを感じにくいことが示された。以上のことから、画像を視聴する際の映像規格が高品質であると、生体的にリラックス状態であることが示唆され、視聴者に癒やしを与えていることが考えられる。

新型コロナウイルスの影響により、旅行や観光を趣味としている多くの人はストレスを解消する機会が減っている。自宅で高精細映像を楽しめる現代でこそ、オンラインでの観光を可能とすることで、観光地へ行けない状況であっても、実物感が強い広色域・高輝度な映像によって、実際に足を運んだ気分になれると考える。本研究では特に映像規格BT.2100における動物を含む自然風景の視聴時に効果がみられたことから、今後はHDR映像がもたらす効果をより詳細に検討するため、様々なコンテンツを対象に比較していきたいと考えている。

謝辞

本研究の一部はJSPS科研費助成金(20K12411)によって実施した。

参考文献

- [1] 篠原未歩, 星野祐子, 山田光穂, “ディスプレイ解像度の違いがもたらす癒やし効果の比較,” FIT2020(第19回情報科学技術フォーラム), 第3分冊, pp.21-24(2020).
- [2] 阪本清美, 山下久仁子, 岡田明, “高輝度レンジの映像視聴が生理・心理状態に及ぼす影響,” ヒューマンインタフェース学会論文誌, 20巻2号, pp.269-280(2018).
- [3] 坂本涼, 野澤昭雄, 田中久弥, 水野統太, 井出英人, “顔面熱画像によるドライバーの覚醒評価-周辺温度と風量の影響-, ” 電気学会論文誌C, 126巻7号, pp.804-809(2006).
- [4] 篠原一光, 木村貴彦, “回答しやすい主観的メンタルワークロードチェックリストの作成とその妥当性の検証,” 日本人間工学会大会講演集, 46sp(0), pp.392-393(2010).
- [5] 山下真裕子, 山田逸成, 安田昌司, “点滅周期および色光の変化による生理的・心理的影響,” 知能と情報, 27巻2号, pp.599-607(2015).
- [6] 佐藤満, “自律神経: 副交感神経,” 体力科学, 50巻2号, pp.259-266(2001).
- [7] 佐藤佑, 石河利寛, 青木純一郎, 清水達雄, 前嶋孝, “運動に対する心拍数, 血圧, 呼吸数の反応の年齢別, 性別特性に関する研究,” 体力科学, 26巻4号, pp.165-176(1977).