

## 原著論文

## 立体映像による複数物体追跡課題の生理・心理効果

佐竹 秀一<sup>1)</sup>, 萩原 啓<sup>2)</sup><sup>1)</sup>立命館大学大学院 情報理工学研究科, <sup>2)</sup>立命館大学 情報理工学部

## Psycho-physiological effects of the multiple objects tracking task in stereoscopic viewing

Shuichi SATAKE<sup>1)</sup>, Hiroshi HAGIWARA<sup>2)</sup><sup>1)</sup>Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University<sup>2)</sup>College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

**Abstract:** Recently, advances in stereoscopic imaging technology have opened up opportunities to view three-dimensional (3D) images and it is expected that 3D imaging technology will be further utilized in medical facilities. In our study, we measured oxygenated hemoglobin (oxyHb) and High Frequency Component (HF) as objective parameters and RAS (Roken Arousal Scale) and SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) as subjective parameters of experimental participants during Multiple Object Tracking (MOT) task under 3D stereoscopic image condition. As a result, the highest mean value of oxyHb change was recorded for 3D MOT task. Under 3D condition, HF values were statistical different between MOT and no MOT. A subjective evaluation of the RAS and SSQ results showed that general activation increased and disorientation decreased when experimental participant performed 3D MOT. In summary, we found that the psycho-physiological responses of test subjects were affected by presentation conditions, and 3D MOT could decrease faults in 3D comprehension and thus lead to brain activation.

**Keywords:** fNIRS, oxyHb, Multiple Object Tracking, 3D stereoscopic image and HF

**キーワード:** 近赤外線分光法, 酸素化ヘモグロビン, 複数オブジェクト追跡課題, 3D 立体映像, HF

## 1. はじめに

近年の立体映像(3D)技術の発展により、テレビや映画にとどまらず、医療・リハビリテーションといった場面など幅広い分野で 3D 技術の活用が期待される。一方、現在日本は少子高齢化社会と言われ、若年者と高齢者がともに豊かに過ごせる社会を築くことが求められている。そこで心身ともに健康な体を維持させるようなトレーニング方法の一つとして、先に述べたような 3D 映像技術などを用いた VR システムの活用が挙げられる。

日常生活に必要な能力は認知機能と関連があるとされている[1]。認知機能は知覚や注意、記憶などに必要な機能とされ、「目的をもった一連の活動を有効に行うために必要な機能」として定義される遂行機能[2]も認知機能に関連している。この遂行機能を必要とする課題として、視覚的注意を要する複数オブジェクト課題(Multiple Object Tracking:MOT)[3]がある。一般的な MOT 課題はランダムに移動する物体を常に追跡し

続けるというものである。この MOT 課題はこれまでヒトの多数の運動する物体に対する注意処理メカニズムを理解するために用いられてきた[3-4]。しかしながら MOT 課題を認知機能のトレーニングとして捉え、脳活動計測などの生理指標と主観指標の関係を調査したものや、MOT 課題を 3D 環境下で提示したものを検討した例はあまり見られない。そこで本研究では 3D 視覚刺激への注意の有無が NIRS(Near Infra-red Spectroscopy)で測定される脳内血行動態などの生理指標や主観指標にどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることを目的とした。

## 2. 実験方法

## 2.1 被験者

被験者は 21~23 歳の大学生または大学院生 14 名(男性 13 名、女性 1 名)である。事前に 3D 映像を呈示し、立体視が可能であることを確認した。被験者には実験に関する十分な説明を行い、インフォームド・コンセントを得た。

## 2.2 実験環境

3D の映像呈示が可能な 27 インチの液晶モニタ(VG278HE ASUS, 解像度 1920×1080, リフレッシュレート 144Hz)および液晶シャッターメガネ(3D Vision, nVIDIA)を使用した。日常生

2016 年 1 月 15 日受理. (2016 年 3 月 10-11 日シンポジウム「モバイル16」にて発表)

活においてメガネを着用している被験者は、メガネの上から液晶シャッターメガネを装着してもらった。実験は暗室内で行い、被験者に椅子への着席を求め、実験中は顎台を用いて頭部を固定した。視距離はディスプレイの高さの約3倍である1.0mになるように設定した。

### 2.3 実験刺激

本研究の視覚刺激として、奥行方向を含む三次元的な移動を行う球を用意した(図1)。MOT課題では10個前後の同一物体のうち4~5個までの物体は正確に追跡できることが知られている[3]ため、本実験でも8個の球のうち4個を追跡する課題を設定した。球の運動方向はランダムに決定されるが、球と球が完全に重なることはないようにした。3D映像時の最大視差は快適な視差範囲とされる $\pm 1.0$ 度とした[5]。

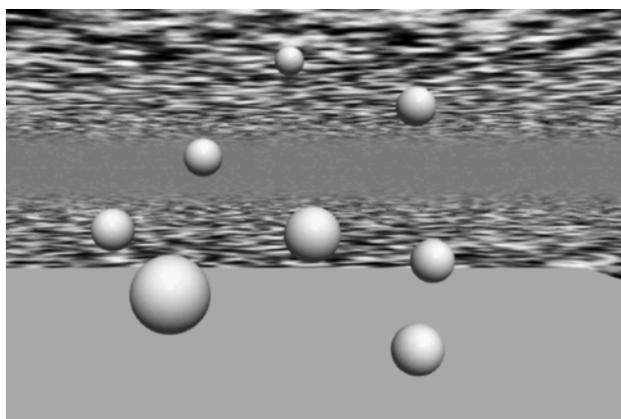


図1 呈示した映像

### 2.4 実験プロトコル

実験は、2Dと3Dの各条件で、MOT条件と、球の追跡を行わない視聴のみ条件の計4条件の計測を行う。順序効果を考慮し、計4条件の実験の順序は被験者ごとにランダムとした。実験プロトコルを図2に示す。まず始めに60秒間の安静状態を計測する。その後、連続して前レスト10秒、タスク30秒、後レスト20秒の一連の流れを8回繰り返す、再度60秒間の安静状態を計測する。1条件の計測にかかる時間は10分である。タスクの繰り返しの回数は、予備実験により10分を超える計測は疲労の影響が大きく出ると判断したため8回に設定した。前レスト時の画面は8つの球がすべて白色で静止した状態となっている。後レスト時の画面は球が消失した状態となっている。また後レストの時間設定は、NIRS測定において変化したデータが安静時レベルに戻るまでの時間を予備実験で確認し決定した。計測前後には主観評価として、RAS (Roken Arousal Scale) とSSQ(Simulator Sickness Questionnaire)の記入を指示した。タスク区間の詳細を以下に示す。

- (a) 8つの球のうち4つの球が緑色に変化し、それを追跡対象として記憶する。(4秒)
- (b) すべての球の色が白色となり、ランダムな方向に動き始

める。被験者は先ほど緑色になっていた球を追跡する。(20秒)

- (c) 球が停止すると同時に4つの球が緑色に変化しそれぞれ数字が割り当てられる。その4つの球のうち3つは手順(a)で緑色であった球であり、1つは白色であった球である。被験者は手順(a)では白色であったと思う球の番号を手持ちの数字キーで回答する。(3秒)
- (d) 手順(a)では白色であった球(正解)が赤色に変化する。(3秒)

視聴のみ条件においては手順(a)、(b)、(d)における球の色の変化はないようにし、画面中心を注視するよう指示した。



図2 実験プロトコル

### 2.5 生理指標

#### 2.5.1 脳内酸素化ヘモグロビン濃度変化

fNIRS(functional near-infrared spectroscopy)は、近赤外光を用いて生体内の酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの濃度変化を計測する手法である。頭皮から大脳に近赤外光を照射すると頭蓋骨で散乱しさらに大脳皮質内部で散乱を繰り返す、後方散乱光として再び頭皮に戻る。この発光と受光のスペクトルの差は近赤外光の行路における吸収を反映している。血液中の酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの近赤外光の吸収スペクトルの違いから解析的に分離抽出することで脳内酸素化ヘモグロビン濃度変化を計測する。

脳内血中ヘモグロビン濃度変化計測には近赤外光イメージング装置 OMM-3000(島津製作所)を使用した。NIRSのプローブ装着位置を図3に示す。装着の際は国際10-20法に則り、最後部のプローブがCzの3cm前方に位置するように装着した。発光プローブと受光プローブの間隔は3cmであり、縦5列×横3列の15プローブに加え、背外側前頭前野の3プローブ、合計18プローブ、25チャンネルを設置した。

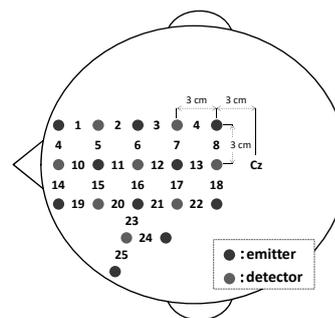


図3 NIRS プローブ装着位置

### 2.5.2 心電図

多用途生体計測器 Polymate(デジテックス研究所)を用いて心電図の計測を行った。3点誘導法に則って被験者の左右の鎖骨の下2箇所と左の肋骨下から2本目にあたる箇所に電極を装着した。電極装着前には皮膚のインピーダンスを下げるため、スキนครリームで電極装着部位を擦ったのちコットンで拭いてから電極を装着した。

### 2.6 主観指標

#### 2.6.1 RAS(Roken Arousal Scale)

RAS は、産業科学技術研究開発プロジェクトの「人間感覚計測応用技術」によって開発された疲労・覚醒度合いの主観評価指標である[6]。6つの感覚尺度である「眠気・全般的活性・リラックス・緊張・注意集中困難・意欲減退」の項目を基に定量的に評価することができる。各感覚尺度の評価は、それぞれの該当する質問応答の評価項目2個から求められる。評価項目は「あてはまらない～非常にあてはまる」の7段階評価から選択する形式となっている。

#### 2.6.2 SSQ(Simulator Sickness Questionnaire)

SSQ はアメリカで開発された映像酔いの主観指標である[7]。気持ち悪さ(N:Nausea)、目の疲れ(O:Oculomotor)、ふらつき感(D:Disorientation)に分類された16の質問項目を4段階(0:まったくあてはまらない~3:かなりあてはまる)で被験者に回答してもらい、16の質問項目と評価項目の気持ち悪さ、目の疲れ、ふらつき感の対応を表1に示す。

表1 SSQ:16の質問項目と対応する指標

	気持ち悪さ(N)	目の疲れ(O)	ふらつき感(D)
全体的に気分が良くない	○	○	
疲れた		○	
頭痛がする		○	
目が疲れている		○	
目の焦点がぼけている		○	○
つばがよく出る	○		
汗をかいている	○		
吐き気がする	○		○
集中するのが難しい	○	○	
頭がぼろぼろとする			○
目がかすむ		○	○
目を開けていてふらふらする感じがする			○
目を閉じていてふらふらする感じがする			○
自分や周りが回転するようなめまいがある			○
胃に違和感がある	○		
げっぷがでる	○		

### 3. 解析方法

#### 3.1 NIRS

脳神経活動変化の指標として局所脳血流変化と最も相関が強いとされる酸素化ヘモグロビン(oxyHb)濃度変化を用いた[8]。NIRSの解析位置は認知・判断といった高次の情報処理に関わるとされる前頭連合野の中央部分(10ch)および前頭前野背外側部(25ch)とした。

NIRSの計測箇所において、計測装置における高周波成分のノイズ、心拍や呼吸によるノイズなどが混入する[9]。これらのノイズを除去する目的で0.01~0.1Hzのバンドパスフィルタを適用した。バンドパスフィルタ適用後の時系列データは被験者ごとに標準化した。またタスク区間の時系列データに対し加算平均を行なった。またタスク区間のoxyHbの増減を示すため、タスク開始時点が0となるように時系列データをシフトした。

#### 3.2 心拍変動 HF

心電図の解析には心拍HF(High Frequency Component)を用いた。HFは心拍変動の周波数解析で算出される0.15Hz-0.4Hzの周波数成分を累積したものであり、副交感神経系の活動度合に関する指標である。本研究では心電図の棘波であるP、Q、R、S、T波のうちR波とR波の間隔を計測することで心拍周期の変動を得た。

#### 3.3 RAS

各因子(眠気、全般的活性、リラックス、緊張、注意集中困難、意欲減退)の値をタスク前後で比較を行った。各個人での値を算出した後に加算平均を行った。検定にはウィルコクソンの符号順位検定を用いた。

#### 3.4 SSQ

16の質問項目で得られた回答からKennedyら[7]の方法によって、全体的な傾向を表す総合値(TS: Total Score)と、下位指標である気持ち悪さ(N:Nausea)、目の疲れ(O:Oculomotor)、ふらつき感(D:Disorientation)を算出した。本研究では実験の前後に回答を実施し、その差分値をSSQの結果として評価した。

なお、RAS以外の指標において、各条件間の違いの比較の検定には対応のある因子の多重比較(Tukey法)を用いた。

### 4. 結果

#### 4.1 MOT課題

MOT課題における正解率は2D条件では82.1%、3D条件では85.7%であった。このことから本実験のMOT課題は被験者の努力によって十分に遂行できる難易度であったと考えられる。

#### 4.2 NIRSデータ

被験者14名分のタスク区間におけるoxyHbの変動の平均

値を図 4、5 に示す。10ch において 2D、3D 条件いずれの場合も MOT 課題時にはタスク開始後から oxyHb が増加傾向を示した。球の追跡が行われている 24 秒付近まで高い値で推移し、追跡終了後から oxyHb が減少し始めている。一方、3D 条件で視聴のみの場合はタスク開始後から oxyHb が減少し始め、低い値を示したまま推移していることがわかる。ほぼ同様の傾向が 25ch でも見られることがわかる。

図 6 および図 7 はタスク区間内中の oxyHb 平均値である。10ch において、3D 条件の視聴のみと MOT の間に有意な差を示した( $P < 0.05$ )。25ch においても、3D 条件の視聴のみと MOT の間に有意な差が見られ( $P < 0.05$ )、さらに 2D 条件の視聴のみと MOT の間にも有意な差が見られた( $p < 0.05$ )。

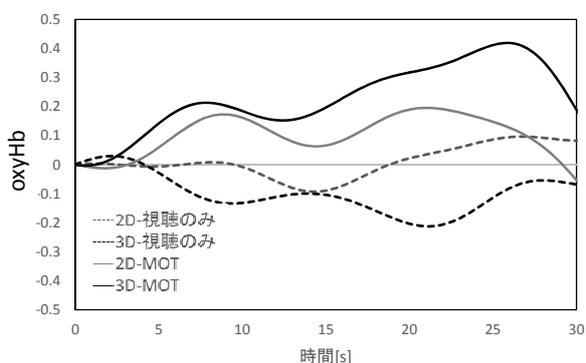


図 4 oxyHb 濃度変化(10ch)

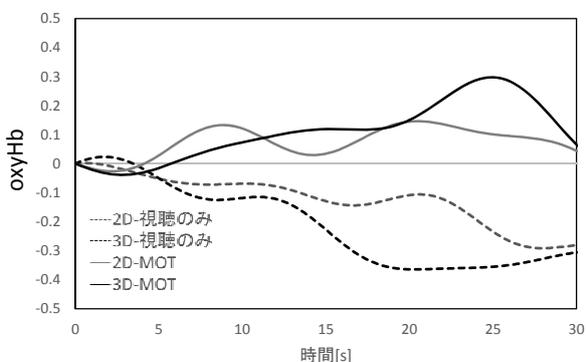


図 5 oxyHb 濃度変化(25ch)

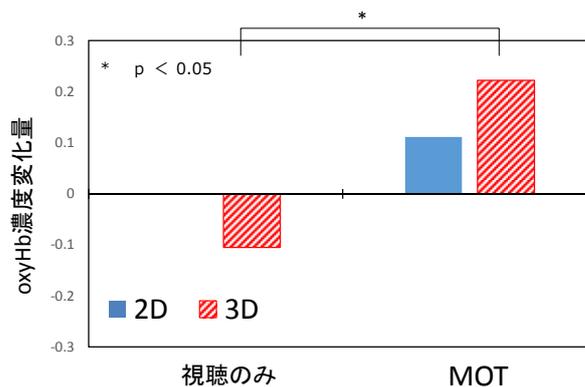


図 6 oxyHb 濃度変化量(10ch)

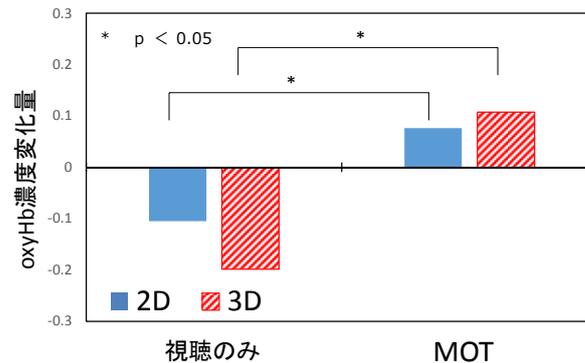


図 7 oxyHb 濃度変化量(25ch)

### 4.3 心拍変動 HF

図 8 は被験者ごとの各条件でのタスク中における HF の値を標準化したグラフである。視聴のみのときと比較して、MOT のときの HF の値は低くなる傾向が見られた。特に 3D 条件下において、視聴のみと MOT の条件の間に有意な差が得られた ( $p < 0.05$ )。

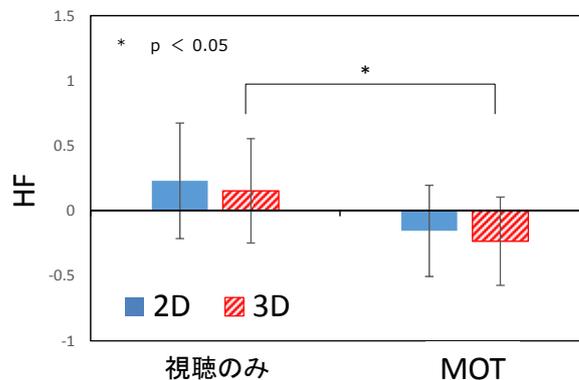


図 8 心拍変動 HF

### 4.4 RAS

計測開始前と終了後の RAS の結果を感覚尺度ごとにまと

めた全被験者の平均結果を、タスクごとに計測前後の状態を比較したグラフを図9～図12に示す。眠気において、2D-視聴のみおよび3D-視聴のみでは有意に眠気が増加していた( $p < 0.01$ )。また、全般的活性においても視聴のみの場合は2D、3D いずれの条件も減少を示し( $p < 0.05$ )、注意集中困難の項目は増加が見られた( $p < 0.05$ )。リラックスにおいては、2D-MOT、3D-MOT で有意な減少を示した( $p < 0.05$ )。

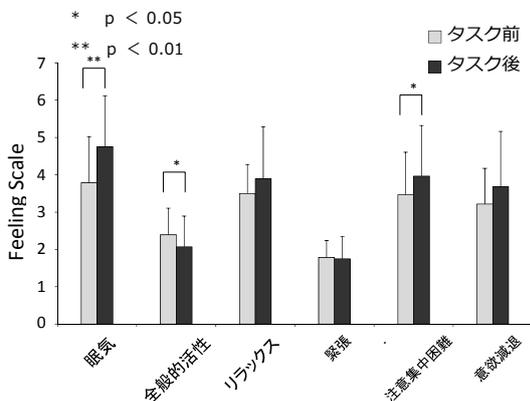


図9 RAS(2D-視聴のみ)

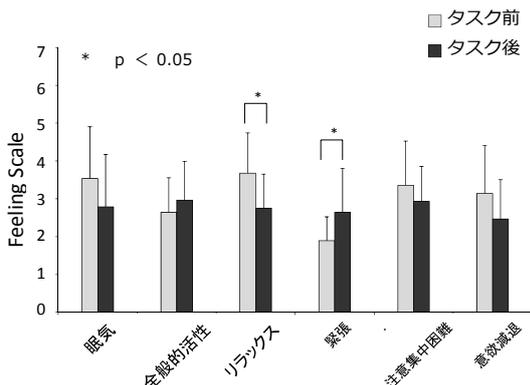


図10 RAS(2D-MOT)

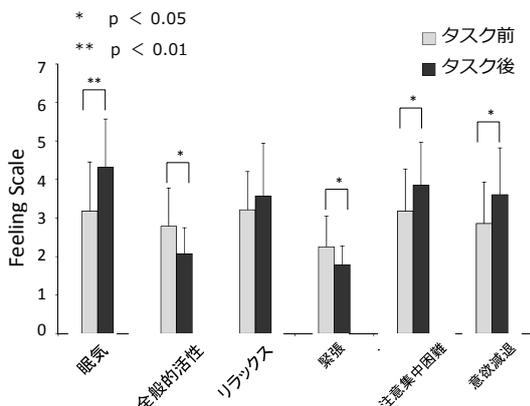


図11 RAS(3D-視聴のみ)

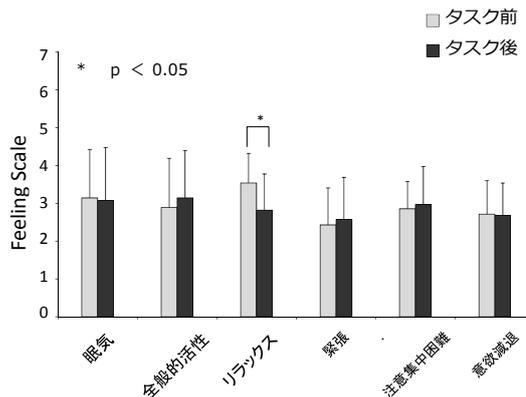


図12 RAS(3D-MOT)

#### 4.5 SSQ

SSQのふらつき感の結果を図13に、総合値の結果を図14に示す。3D条件下のふらつき感において、視聴のみとMOTを比較すると、視聴のみの方が有意に値が大きいが認められた( $p < 0.05$ )。総合値では条件間に有意な差は得られなかったが、2D条件に比べ3D条件の際に値が大きくなる傾向が見られた。

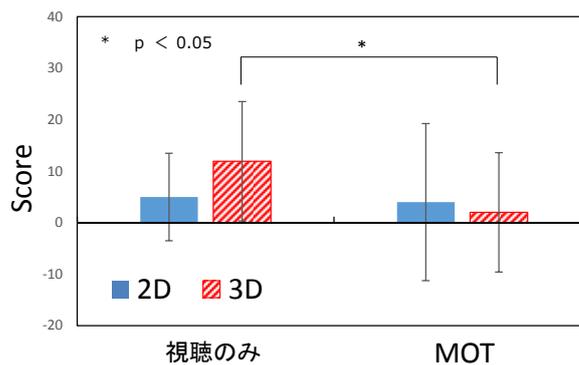


図13 SSQ(ふらつき感)

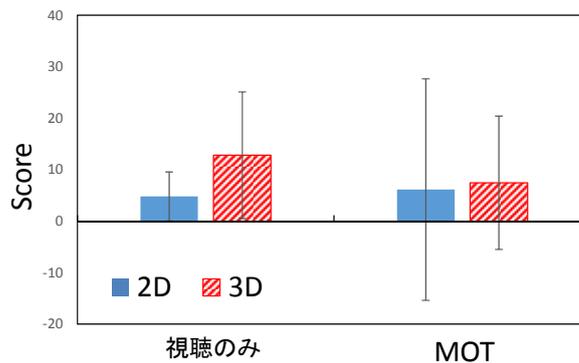


図14 SSQ(総合値)

#### 5. 考察

本研究ではMOT課題の際、前頭前野においても脳内の血行動態が増加した。特に3D条件ではオブジェクト追跡が終了

する図4、5の24秒付近までoxyHb濃度が上昇し続けている。MOT課題中の脳活動を計測した過去の研究にPiersら[10]の報告がある。Piersらによると、頭頂部を中心に賦活し、前頭部分の賦活はほとんど見られなかったと述べている。この本研究との結果の相違は、本研究のMOT課題は対象物体の三次元的な移動を含むこと、Pierらが行なったMOT課題より追跡時間が長くなっていることが要因で認知的負荷が増えたためではないかと考える。一方、本研究において3D条件で視聴のみだとoxyHb濃度変化は減少傾向を示した。MOT課題の映像を課題を行わずに見ただけの時や3D映像注視時は後頭葉や頭頂部の脳血流は増大し、前頭野では抑制されたという報告[11-12]があり、本研究でも同様の脳活動が行われた可能性がある。以上のことから、同じ3D条件下でも映像刺激に対する視覚的注意の有無が脳活動に変化を及ぼすと考えられる。

自律神経系の活動状態を示す副交感神経系活動度では、2D、3D条件ともにMOT課題時は視聴のみの時に比べHFが低い。このことからMOT課題時は視聴のみと比較して副交感神経系活動度が抑制されていることがわかる。特に3D条件下において、視聴のみとMOTの条件の間に有意な差が見られたことから、脳活動と同様に、映像刺激への注意の有無が自律神経活動にも影響を与えられることが示唆された。

次に自律神経活動度HFと主観評価SSQの関係に注目してみる。一般的に乗り物・映像酔いの症状が重くなるにつれてHFの低下が見られ副交感神経系活動が抑制されると言われている[13-14]。しかし本実験ではSSQで高い値を示した3D条件の視聴のみの心拍変動を見てみると、HFの値が比較的大きい。本実験で得られたSSQの評価値は、実際の乗り物酔いや映像酔いに見られるひどい嫌悪感、だるさといった酔いまでには至らず、ぼうっとして集中できていない状態が要因だと推測する。実際にRASの評価値を見てみると、視聴のみの場合は眠気、注意集中困難の値が増加し、全般的活性の値が減少している。一方で3D条件のMOT課題時では視聴のみの時と逆の傾向を示している。これらの結果は本実験における映像視聴時間が比較的短かったことに起因すると考える。木下ら[15]は60分間の立体映像視聴をした際の自律神経系活動やSSQによる主観評価の検討している。その結果、視聴時間の増加に伴って、副交感神経活動の抑制やSSQの総合値が大きくなったと報告している。そのため、本実験の3D条件のMOT課題においても実験時間が長くなるとSSQの値が大幅に増加するなど本実験の結果とは異なる傾向が見られる可能性がある。

MOT課題時は眠気が抑制されており、SSQの総合値を見ても映像酔いの度合いはMOT課題の際の方が少ない。このことから同じような映像内容でもMOT課題の有無が主観指標にも影響を与えており、3D条件下でも能動的な映像視聴によ

って映像酔いの感覚が軽減される可能性がある。oxyHb濃度変化、心拍変動HFおよび主観評価を考慮すると、本実験における3D条件下でのMOT課題時は心身が活動状態になっていると考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、3D映像によるMOT課題について生理評価と主観評価の両面から検討を行なった。そして若年層において、本実験のMOT課題は映像酔いを抑えながら脳活動の賦活させる可能性が確認できた。今後の展望として、頭頂部や後頭部など脳活動のより詳細な検討に加え、本実験で得られた知見を高年齢者に対して適用することも考えられる。遂行機能は加齢とともに低下する[16]と考えられているため、本実験のような3DのMOT課題を応用することで脳機能トレーニングの開発も考えていきたい。

## 謝辞

本研究の一部は、文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業(平成25年～平成29年)の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] van Hooren, S.A, van Boxtel, M. P., Valentijn, S. A., et al : Infuence of cognitive functioning on functional status in an older population , 3- and 6 year follow up of the Maastricht Aging Study. *Int. J. Geriatr. Psychiatry*, 20, pp.883-888 (2005).
- [2] Lezak MD.: The problem of assessing executive functions, *International Journal of Psychology*, 17, pp.281-297 (1982).
- [3] Pylyshyn, Z. W., & Storm, R. W.: Tracking multiple independent targets: evidence for parallel tracking mechanism. *Spatial Vision*, 3, pp.179-197 (1988).
- [4] Saiki, J., : Spatiotemporal characteristics of dynamic feature binding in visual working memory, *Vision Res.*, 43, pp.2107-2123 (2003).
- [5] 3D コンソーシアム: 人にやさしい 3D 普及のための 3DC 安全ガイドライン (2010).
- [6] 高橋誠,北島洋機,本城由美子: 精神的作業負担チェックリストの作成とそれによる眠気とリラックス状態の関係構造の検討, *労働科学*, 72(3), pp.89-100 (1996).
- [7] R.S.Kennedy: Simulator Sickness Questionnaire, , *The International Jpurnal of Aviation Psychology*, 3, pp. 203-220 (1993).
- [8] 志村孚城: 近赤外分光法による前頭前野計測-認知症の早期発見とリハビリテーション方法の評価, pp. 18-19, コロナ社 (2009).
- [9] Matthews F, Pearlmutter BA, Ward, TE, et al.: Hemodynamics for brain-computer interfaces, *IEEE Signal Processing Magazine*, 25, pp.87-94 (2008).

- [10] Piers D. H., Todd S. H., et al.: Using fMRI to distinguish components of the multiple object tracking task, *Journal of Vision*, 9(4), pp.1-11 (2009).
- [11] Culham, J. C., Cavanagh, P., and Kanwisher, N. G.: Attention response functions: Characterizing brain areas using fMRI activation during parametric variations of attentional load, *Neuron*, 32, pp.737-745 (2001).
- [12] 半田知也: 立体映像注視時の視覚反応-生体反応計測のアプローチ-, 映像情報メディア学会技術報告, 34(24), pp.19-23 (2010).
- [13] M. Onimura, K. Hirabayashi, K. Yajima, M. Igarashi & Y. Arakawa : Change in cardio-respiratory function, heart rate variabilities, and electrogastrogram preceding motion sickness-like symptoms induced by virtual reality stimulus, *J.J. Aerosp. Environ. Med.*, 43, pp.99-109 (2004).
- [14] P.J Gianaros, K.S. Quigley, E.R. Muth, M.E. Levine, R.C. Vasko Jr. & R.M. Stern : Relationship between temporal changes in cardiac parasympathetic activity and motion sickness severity, *Psychophysiol.*, 40, pp.39-44 (2003).
- [15] 木下史也, 森柚樹, 杉浦明弘, 他: 長時間の立体映像視聴が体平衡系および自律神経系に及ぼす影響, *日衛誌*, 71, pp.30-36 (2016).
- [16] LundinOlsson L, Nyberg L, Gustafson Y: "Stops walking when talking" as a predictor of falls in elderly people. *Lancet.*, 349(9052), pp.617 (1997).

### 著者紹介



佐竹 秀一 (学生会員)

2015年3月立命館大学情報理工学部知能情報学科卒業。同年4月立命館大学大学院情報理工学研究科人間情報科学コース入学, 現在に至る。立体映像の生体影響に関する研究に従事。



萩原 啓 (正会員)

1977年大阪大学基礎工学部生物工学科卒業。同年松下電工株式会社入社。電器 R&D センター健康科学研究所主幹研究員を経て 2003年立命館大学へ。現在、立命館大学情報理工学部知能情報学科教授。博士(医学)。生体情報計測評価技術, 特に睡眠・覚醒・生体リズムの研究に従事。モバイル学会, 日本生体医工学会, ヒューマンインタフェース学会, 日本人間工学会の会員。