

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25280102

研究課題名(和文) 3D映像の魅力の認知脳科学的解析と映像評価システムの提案

研究課題名(英文) The analysis of the 3D movie's allurements based on brain and cognitive science and the proposition of a 3D contents estimation system.

研究代表者

河原 哲夫 (KAWAHARA, Tetsuo)

金沢工業大学・バイオ・化学部・教授

研究者番号：40112776

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,700,000円

研究成果の概要(和文)：「3Dらしさ」の時系列評価手法を開発して各種評価語を解析した結果、「圧倒する」との側面が重要な役割を果たしていた。また映像特徴との関係では、物体の占める割合が高い程3D効果が大きくなった。映像提示中の脳活動をfMRI計測した結果、視差に特異的な脳活動や3D視聴固有の疲れの蓄積の可能性が認められた。また、映像中の両眼視差が2度以上の場合に、視覚疲労が確認された。「3Dらしさ」を実現する特徴要因として奥行感に注目し、両眼視差や運動視差などの光学的解析から3Dレシピを作成した。構図や人の動きなどに基づく奥行きの生成・統合によって、より自然な奥行感をもつ3D映像の生成を実験的に検証した。

研究成果の概要(英文)：As a method of time series evaluation of 3D's contents, the pinch power method was useful. Among evaluation words, "overwhelm" played an important role. As key components of 3D movie to affect human cognition, the effect of 3D became larger when the angle of view was small and ratio of visual object in the display was large. Functional MRI experiments elucidate that 3D stimuli-specific brain activity is appeared. The specific brain activity after viewing 3D movie suggested some kind of fatigue in the brain. The visual fatigue estimated by eye lens accommodative activity was detected on the condition of binocular disparity of over 2 degrees in 3D movie. The reality of 3D movie is due to 3D qualities such as a depth sensitivity. 3D recipe has been designed with optical components defined by binocular and motion parallax etc. It is confirmed that depth map creation from motion and compositional information is able to produce more natural 3D image with sufficient accuracy.

研究分野：感覚情報処理

キーワード：3D映像 3Dらしさ 臨場感 感性評価 奥行感度 画像認識 3D評価指標 視覚疲労

1. 研究開始当初の背景

映像技術のデジタル化に伴って両眼立体視による 3D 映像の製作技術、提示技術が飛躍的に発展した。その結果、アミューズメント施設、各種イベントのみならず、一般の劇場においても 3D 映画が多く上映され、高い臨場感を伴った迫力ある映像体験が提供されている。また、産業分野では遠隔地での共同作業あるいはテレグジスタンスでの臨場感ディスプレイや医療・動作訓練・教育への応用など、バーチャルリアリティ技術を用いた立体映像の提示が多くの場合で提案・実行されている。さらに家庭用テレビにおいても、3D 映像が放映されはじめた。

3D 映像では、従来の 2D 映像に比べて高い臨場感、実物感、自然感、操作感が確認されるなど、より豊かな映像表現を体感させることが可能になると考えられ、次世代の映像表現手段として多く期待されている。

一方、両眼視差に基づく 3D 映像の生体への影響については、これまでに多くの研究が行われてきた。調節距離と輻輳距離の不一致などを原因とする疲労感をはじめ、両眼視差以外の画像要因における異質性、例えば色度・大きさ・鮮明度などの違い、上下ずれなども、体験者に不快感や疲労を与えることが報告されている。また、撮影中の過大なカメラアングルの移動は、映像酔いの原因になることが知られている。このような現象の見られることから、安全・安心で快適な 3D 映像コンテンツを提供する指針として、3D 用の撮影・記録・ディスプレイ器材およびコンテンツ撮影のための「3DC 安全ガイドライン²⁾」が策定されている。また、2012 年 10 月には、総務省の「3D テレビの生体への影響に関する検討会」の最終報告書³⁾も出されている。

他方、3D 映像の魅力についての研究は、必ずしも十分といえず、今後の課題として残されてきた。視聴者が 3D 映像に魅力を感じるのとはなぜか。その認知脳科学的エビデンスを確立することが、新しい映像文化として期待される 3D 映像の健全な発展にとって必要・不可欠と考えられる。

2. 研究の目的

近年、両眼立体視による 3D 映像の関連技術が飛躍的に発展し、3D 映画や 3DTV などの普及が目覚ましい。3D 映像では高い臨場感で豊かな感性を表現でき、次世代の映像技術として多く期待されているが、その健全な発展には快適で魅力ある映像コンテンツの提供が必要・不可欠である。これまで 3D 映像の生体影響については、その安全性の面からの研究が主に行われてきたが、本研究では、3D 映像の利点を積極的に引き出すという目的から、「3D らしさ(魅力)」の感性的要因、生理・脳機能的要因を解明し、それに対応する映像自身の物理的特性を明らかにする。さらに、その結果に基づいて、「3D らしさ」を実現する映像の仕様書(3D レシピ)を策定する。

一般に、映像作家やその編集に携わるプロフェッショナルは、実体感を伴った感動的シーンの魅力として「シズル感」、「透明感」、「艶感」、「立体感」、「空中感(浮遊感)」などの言葉で映像を表現している。従来の 2D 映像に関してはそれらの表現語と撮影手法や映像の物理的対応とがある程度経験的に知られているが、立体感覚を視差情報として提示する 3D 映像の場合には従来の経験では不十分であり、映像表現手法に関して映像制作者・配給者に戸惑いも見られる。

本研究成果に基づいて、3D 映像作家、映像技術者、メディアおよび一般視聴者への有益な情報提供が可能となり、3D 映像文化の健全な発展とその環境整備に寄与できると期待される。

3. 研究の方法

3D 映像制作者が意図する「3D らしさ(魅力)」の要因を解析し、健全な 3D 映像作成のレシピ策定を行う目的で、以下の 3 項目を主とした実験・研究を行った。

(1) 3D 映像における「3D らしさ」の時系列官能評価

3D 映像コンテンツを視聴し、特定した評価語を用いて各コンテンツに関する時系列評価実験を行った。時間的に画面を変化させたコンテンツに対し、例えば「飛び出し感」を評価語として与えたとすると、これをどの程度意識しているかをリアルタイムの時系列評価で実施した。なお、この時系列評価は Stevens のマグニチュード推定法を応用した cross-modality matching 法で行った。例えば、「飛び出し感」の感覚量を指尖のつまみ(ピンチ)力で表現し、その圧力を感性データとして計測した。すなわち、感じれば感じる程、強くつまみ、その圧力がリアルタイムにデータ化される。この手順を同じコンテンツに対して他の評価語についても同様の計測を行い、3D 映像の時系列場面の各々に対応した各評価語に関する感性データ(評価語指数)を蓄積した。

映像の表示には家庭用 58 インチ TV または 200 インチスクリーンと Blu-ray プレイヤーを用いた。提示刺激には、3D 映画「メリダとおそろしの森」あるいは「ホビット-思いがけない冒険」から 3 つのシーンを選択して使用した。実験は薄暗いシアタールームあるいは蛍光灯による通常の照明がある部屋で行われた。

実験参加者の時系列反応の取得には面圧分布測定システム(I-SCAN, ニッタ)にグローブ型のセンサを接続した装置あるいはマイコンボード(Arduino-Uno)に接続した圧センサ(FSR-402, Switchscience)を用いた。実験参加者は圧センサの説明を受けた後に出来るだけ強く圧センサを利き手の親指と人差し指で掴むよう求められた。このときに記録された値を各参加者の最大圧値とした。その後実

験者により課題に関する教示が行われた。

(2) 3D 映像視聴時の心理物理および生理・脳機能評価

3D 映像コンテンツ視聴中の脳活動を fMRI および MEG を用いて計測し、映像各シーンにおける脳内での活動部位とその賦活状況を評価した。具体的には、視覚探索課題を視差なしの 2D 映像と視差ありの 3D 映像とをランダムに提示し、3D 提示と 2D 提示時の反応差分を実験セット間で分析し、3D 映像に特有の脳活動を探索した。さらに、計測した脳活動と探索応答時間との両面から解析を行った。

また、0 分から 6 分間の動画を視聴することで脳のどの部位で疲労が起きているかを測定した。ここで、集中力が低下した状態を脳が疲労したものと仮定し、2D 映像および 3D 映像を視聴した後に集中力タスクを用いて脳の疲労度を評価した。さらに、2D および 3D 映像視聴後に fMRI を用いて探索課題中の脳活動を各条件間で比較する事で、脳の疲労を生じさせている脳部位を確認した。

3D 映像視聴後の視覚疲労評価に関しては、主に水晶体調節微動高周波成分(HFC)の出現頻度に着目し、各種視聴時間前後で比較・解析した。視聴する 3D 映像コンテンツには、3D 生体影響測定用映像である「GO AHEAD!」、市販の「IMAX DEEP SEA 3D」や「コーラルリーフ 3D」などの BluRay 映像、3DTV 番組「3D★3D」および 3D カメラによる実写映像などから、各種の両眼視差条件で選択したシーンを用いた。また、3D 提示条件として一般の 52 インチ 3DTV、高性能 3D プロジェクター、Head Mounted Display の 3 種を用い、両眼間のクロストークによる視覚疲労への影響を検討した。

(3) 3D 映像における画像特徴の要因解析と 3D レシピの作成

3D 映像における「3D らしさ」を表現する画像特徴の要因解析を目的として、3D 映像のフレーム毎に両眼視差を計測し、フレーム画像にオーバーレイさせた。その画像を連続表示することで、両眼視差を時間的・空間的に把握することができる。さらに、動き検出、人検出、構図識別に基づくデプス生成の 3 つの処理モジュールを作成した。この 3 モジュールの適切な構成で、2D 映像から 3D 映像に変換する 2D/3D 変換システムを開発できる。

3D レシピは、人の感性に影響を与え、さらに安全性を高める 3D らしさの要因仕様書である。3D レシピによって、3D 映像から得る疲労感を軽減して 3D らしさを増大させ、高品質な 3D 映像を作成することが可能となる。解析した要因は、専門語を含むため一般には馴染まず、3D レシピは一般にも理解しやすいように作成する必要がある。

ここでは、光学的観点からの奥行きに着目

し、奥行き之感度を用いて両眼の映像を解析し、その結果から 3D レシピを作成した。解析における視聴姿勢は、ガイドライン²⁾に記載されているように、画面の水平方向と両眼を水平にして頭を動かさずに、3D 映像を視聴することを前提とした。

図 1 に示す光学的手がかりにおいて、網膜に投影される画面上の視差や相対速度を視距離と奥行弁別関で表し、奥行感度を計算した。さらに、新たに得られた奥行感度を奥行感のための指標として 3D レシピを作成した。

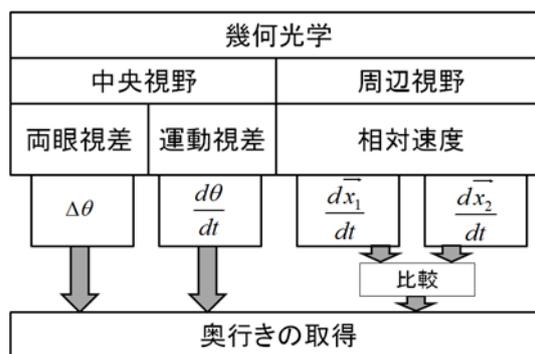


図 1 奥行き知覚の光学的手がかり

4. 研究成果

(1) 3D 映像における「3D らしさ」の時系列官能評価

3D 映像から感じる「3D らしさ」の時系列的評価を圧センサによるピンチ力で評価した結果、奥行き方向の演出が特徴的な場面で、3D 視聴条件での臨場感(3D らしさ)が強くなり、この主観的評価方法が時系列的感性評価に有用であることが確認された。(図 2)

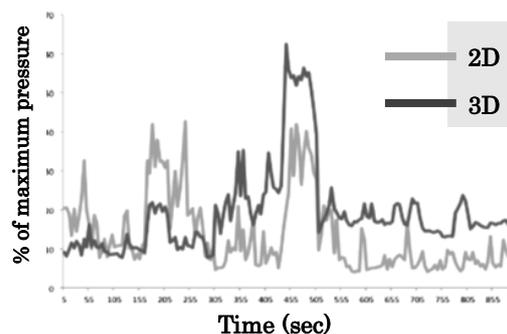


図 2 2D および 3D 映像による臨場感時系列評価

また、専門家以外でも理解できるより適切な評価語を選定するため、3D 映像作家および編集者が発信しているネット上の記事や書籍などから、どのような魅力を意識してコンテンツを作成・編集しているかを調査した。これに関する記述を抜き出し、その中での発話分析に基づいて評価語を特定した結果、「3D らしさ」の一般的評価語である臨場感とともに、「自然な・リアルな・美しい・圧倒する」の 4 項目が選ばれた。

その後、臨場感とともに上記 4 評価語を用

いて3D映像に対する時系列評価実験を行い、評価用語間でグラフィカルモデリングを行った結果、臨場感の下位項目の中で「圧倒する」との側面が重要な役割を果たしていることが明らかになった。

次に、上述の感性評価の変化が、スクリーンサイズの影響を受けるかどうかを検討した結果、画面が大きくなると臨場感は全体的に高まるが、3D提示による効果は画面が小さい場合の方が大きいことが示された(図3)。また、

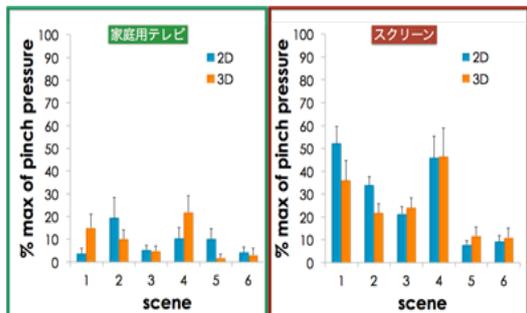


図3 臨場感評価の画面サイズ間比較

コンテンツ作成方法の違いに関しては、CGアニメーションに比べて実写映像で3D効果の強くなることが確認された。ただし、この違いはコンテンツそのものの違いを含んでおり、必ずしも実写映像の3D効果が強いことを示すものではない。

2Dおよび3Dの映像から受ける臨場感が、どのような映像特徴からもたらされたものを明らかにするために、時系列臨場感評価を目的変数、2D映像から抽出された映像の画角の広さ、横方向の動きの大きさ、奥行き方向の動きの大きさを説明変数とする重回帰分析を実施した。その結果、2D映像からもたらされる臨場感是用いた説明変数で概ね説明可能であるのに対して、3D映像からもたらされる臨場感は説明できないことが示された。この結果から、3D映像による臨場感は、2D映像上に表れる映像特徴以外の要素から生まれていることが示唆される。

(2) 3D映像視聴時の心理物理および生理・脳機能評価

2D映像での視覚検索課題遂行時に比べ、3D映像検索課題遂行時に固有な活動が、右側頭極に見られた。3D映像と2D映像の差分では、特に舌状回、下後頭回、中心前回に強い脳活動が見られた(図4)。

ここで、応答速度の速いグループと遅いグループに被験者が分かれた結果、2つのタイプに応じた脳活動解析の必要性が明らかとなった。なお、3D映像知覚に固有の脳活動部位に関しては、これらのタイプの違いに相関する差異は認められなかった。

また、3D映像視聴後の視覚探索課題の応答時間は、動画の視聴時間が延びるにつれて有意に($p < 0.05$)大きくなったが、2D視聴後ではほとんど変わらなかった(図5)。

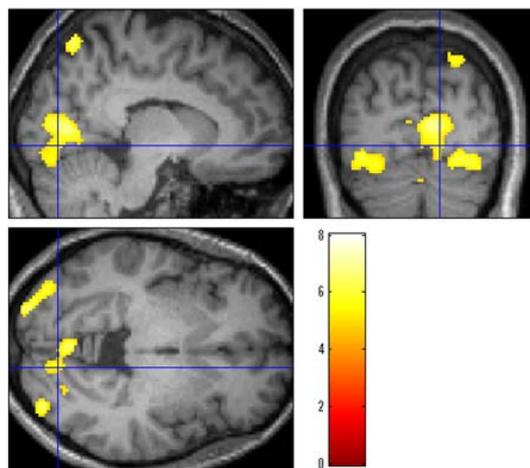


図4 映像視聴後の探索課題中の脳活動(3D映像と2D映像の差分)

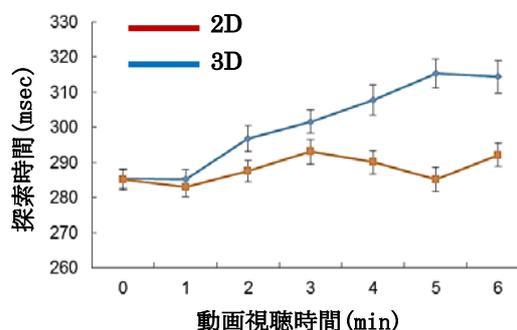


図5 2Dおよび3D映像視聴後の視覚探索時間

3D映像での各種の視差条件で視覚疲労を検査した。3D映像視聴直後の調節微動高周波成分(HFC)の割合は、提示した両眼視差が1.2度以内では全く増加せず2D視聴直後とほぼ同一であった。ただし、視差が2.5度以上でHFCが有意に上昇し、視覚疲労が確認された(図6)。一般に、視差2度以上で映像に対する

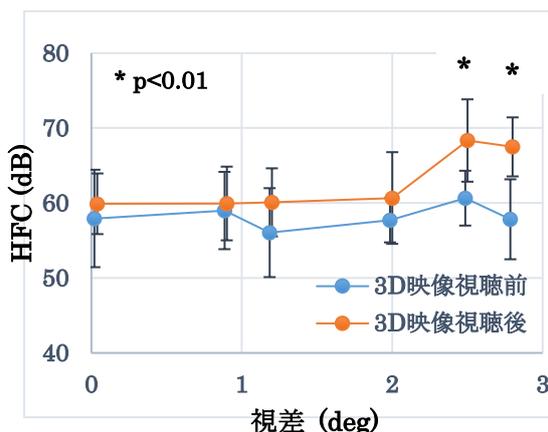


図6 3D映像視聴前後の調節微動高周波成分(HFC)

眼球の被写界深度から大きく外れるため、この視覚疲労は調節距離と輻輳距離の矛盾による結果と推測される。

両眼視差提示における光学的条件については、左右眼に提示した映像でのクロストークが0.5%程度以内であれば、HFC、瞬目回数お

よび主観的評価でも疲労が確認されず、HMDの有効性が確認された。また、一般の3DTV方式においてもクロストークを1%程度に抑える必要性が明らかとなった。

(3) 3D映像における画像特徴の要因解析と3Dレンピの作成

3D映像における「3Dらしさ」を表現する画像特徴の要因解析の手段として、3D映像におけるフレーム毎の両眼視差を時間的・空間的に把握できるツールを開発した。さらに、OpenGLを用いて環境光、拡散光、鏡面反射、光沢などのレンダリング・パラメータを変化させた各種画像の立体的な見えやすさを主観的に評価した。その結果、立体感覚における鏡面反射の重要性と適度な環境光、拡散光の必要性が示唆された。

動き検出、人検出、構図識別に基づくデプス生成の3つの処理モジュールから構成された2D/3D変換システムを開発した。さらに、「自然な奥行きで統一感があるか」、「映像に拡がりがあり、奥行きがあるか」、「映像を見ていて不快感がないか」、「映像自体が綺麗か」の4つの評価項目を設定して、評価実験を実施した。その結果、限られた2D映像のシーンに対してではあるが、より「3Dらしさ」を表現する2D/3D変換システムを実現できた。

「3Dらしさ」の表現には、動き検出、人検出、構図識別に基づくデプス生成から得られたデプスの整合を図ることの重要性が確認された。

図1および実際の視差提示条件などの光学的手掛かりに基づいて奥まり効果を算出した結果を式(1)に示す。

$$\frac{D}{\Delta D} = \frac{a}{S_{\text{pixel}}} \cdot \frac{p}{q} - 1 \quad (1)$$

ここで、 D は視距離、 ΔD は奥行き判別閾、 S_{pixel} は画面上のピクセル数に変換された視差、 a は瞳孔間距離、 p は画素密度、 q はインチからメートルに変換する定数(=0.0254、インチからミリメートルに変換する場合は25.4)である。画素密度 p は式(2)に示すように、画面サイズのインチ数 i 、画面の画素数(縦の画素数 h 、横の画素数 w)で計算される。

$$p = \frac{\sqrt{w^2+h^2}}{i} \quad (2)$$

式(1)の奥行き感度が0以下になると、奥行きを感じなくなる。メートルに変更された視差 S_{pixel} が瞳孔間距離 a と同じになることで式(1)は0になる。これは、無限遠点での奥行き感度となり、これ以上の視差になると3D映像から得られる疲労感を抑制する注意事項で示す開散方向の視差制限を超えてしまう。よって、式(1)を用いて0以下にならないように3D映像を制作する必要がある。奥行き感の増大においては、式(1)の奥行き感度がどのくらい奥行きを感じることを表しているため、奥行き感度を増大させるように3D映像を制作

する。例えば、同一の視差でも瞳孔間距離 a が大きくなることで奥行き感度は増大する。

飛び出し効果についても同様であり、提案した3Dレンピを表現する新たな奥行き感度を用いることで、疲労感を減少させ奥行き感を増大させる3D映像を作成することが可能となる。しかし、奥行き感における各種の手がかりについて、快適視聴距離以外における画素数や画面サイズの影響を考慮していないなど、まだ不十分な点がある。

今回作成した3Dレンピは、3D映像作成の手助けとなり、3D映像のさらなる普及に繋がる一助となると考えられる。

<引用文献>

- 1) K.Ukai and P.A.Howarth, Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: Background, theories, and observations. Displays, Vol.29, 106-116, 2008
- 2) http://www.3dc.gr.jp/jp/scmt_wg_rep/guide_index.html, 3D コンソーシアム、3DC安全ガイドライン、2011.10.31
- 3) http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/02tsushin04_03000107.html, 総務省、3Dテレビに関する検討会最終報告書、情報通信国際戦略局通信企画課、2012.10

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① S.Kaji, Y.Watanabe, Evaluation Using Indexes by Depth Sensitivity on Screen. Proc. of the 1st Int. Conf. on Advanced Imaging(ICAI 2015), 査読有, Vol.1, 635-639, 2015
- ② 伊丸岡俊秀, 神宮英夫, 映像の3Dらしさに対する感性評価の時間的変化、信学技報(HCS2013-114)、査読無、Vol.113、No.462、57-60、2014
- ③ 鍛冶俊平, 渡辺弥寿夫, 3D映像表示画面上の両眼視差における奥行き感度についての考察、コンピュータビジョンとイメージメディア(CVIM)、査読有、Vol.192、No.1、1-5、2014
- ④ 鍛冶俊平, 渡辺弥寿夫, 画面上における相対速度から得られる奥行き感度と運動視差による奥行き感度、映像情報メディア学会技術報告、査読無、Vol.38、No.46、29-32、2014
- ⑤ 河原哲夫, 眼鏡と視線分布、あたらしい眼科、査読有、Vol.30、No.8、1053-1060、2013

[学会発表] (計 16 件)

- ① 犀川隼, 伊丸岡俊秀, 3D映像が臨場感を与える要素、北陸心理学会 50 回大会、

- 2015年12月5日、石川県政記念しいのき迎賓館（石川県・金沢市）
- ② 神宮英夫、太田智也、犀川隼、伊丸岡俊秀、時系列評価による映像の3Dらしさの個人差、平成27年度日本人間工学会関西支部合同大会、2015年12月5日、大阪府立大学I-site なんば（大阪市・浪速区）
- ③ 河原哲夫、田中信宗、芳山将史、PCおよびタブレット端末使用中のブルーライトが調節微動高周波成分に及ぼす影響、第51回日本眼光学学会総会、2015年9月26日、岡山コンベンションセンター（岡山県・岡山市）
- ④ H.Sato, S.Nagata, Experimental Evaluation of Multi-Key Content-Based Image Retrieval. 8th International KES Conference on Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services (KES-IIMSS-15), 2015.6.19, Sorrento (Italy)
- ⑤ 伊丸岡俊秀、神宮英夫、3D映画の臨場感：アニメと実写の比較、第13回日本心理学会「注意と認知」研究会、2015年3月、ホテルサンルートプラザ名古屋（愛知県・名古屋市）
- ⑥ 寺本隆磨、長田茂美、Stacked Denoising Autoencoder の汎化性能向上に関する一検討、情報処理学会研究報告 コンピュータビジョンとイメージメディア(CVIM)、2015年1月15日、奈良先端科学技術大学院大学（奈良県・生駒市）
- ⑦ 神宮英夫・犀川隼・伊丸岡俊秀、時系列評価による映像の3Dらしさ、平成26年度日本人間工学会中国・四国支部、関西支部合同大会、2014年12月、岡山県立大学（岡山県・総社市）
- ⑧ 田森佳秀、Arduino を用いた多CH脳波計の製作、Maker Fair 2014、2014年11月23日、東京ビックサイト（東京都・江東区）
- ⑨ 伊丸岡俊秀、神宮英夫、3D映像から感じる臨場感の評価—異なる画面サイズ間の比較—、日本心理学会第78回大会、2014年9月、同志社大学（京都府・京都市）
- ⑩ 鈴屋雄輔、河原哲夫、立体映像の視差が調節機能に及ぼす影響、日本視覚学会 2014年冬季大会、2014年1月22日、工学院大学アーバンテックホール（東京都・新宿区）
- ⑪ Y.Tamori, Multimodal relation between perceptual simultaneity and neural simultaneity. The 17th Ann. Conf. of Assoc. for Scientific Study of Consciousness, 2013.7.13, San Diego (USA)

〔産業財産権〕
○出願状況（計 1 件）

名称：脳活動計測用電極、脳活動計測用装置及びこれらの方法

発明者：田森佳秀

権利者：田森佳秀

種類：特許

番号：特願 2015-023269

出願年月日：2015年2月9日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河原 哲夫 (KAWAHARA, Tetsuo)

金沢工業大学・バイオ・化学部・教授

研究者番号：40112776

(2) 研究分担者

田森 佳秀 (TAMORI, Yoshihide)

金沢工業大学・バイオ・化学部・准教授

研究者番号：00260208

神宮 英夫 (JINGU, Hideo)

金沢工業大学・情報フロンティア学部・教授

研究者番号：10112468

伊丸岡 俊秀 (IMARUOKA, Toshihide)

金沢工業大学・情報フロンティア学部・教授

研究者番号：20387351

渡辺 弥壽夫 (WATANABE, Yasuo)

金沢工業大学・工学部・教授

研究者番号：30158662

長田 茂美 (NAGATA, Shigemi)

金沢工業大学・工学部・教授

研究者番号：00399718