

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：82636

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K20021

研究課題名（和文）fMRI/MEG脳活動から視覚的「立体感」を画像として復元する技術の開発

研究課題名（英文）Reconstructing perceived stereoscopic scenes from fMRI/MEG brain activity

研究代表者

番 浩志（Ban, Hiroshi）

国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報通信融合研究室・主任研究員

研究者番号：00467391

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、fMRIおよびMEGを用いて取得した立体感に関わる脳活動を、エンコーディング・モデルや機械学習法を用いてモデル化し、2次元の画像を見た際に被験者が感じている「立体感」を画像・映像として復元する技術を開発することであった。その第1ステップとして、4K解像度で10,000枚を超える3D自然風景画像のデータベースを完成させた。さらに、その画像データベースのうち、2,400枚の3D画像それぞれを観察中の5名の被験者のfMRI脳活動データベースも構築した。現在、この脳活動をまとめてモデル化し、ヒトが感じている立体感を再構築するモデルの精緻化を行っている。成果は速やかに発表予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒトの「立体感」と視対象の物理的な特性は、必ずしも1対1に対応しないことが知られている。ここで、ヒトの脳内に再現された「立体感」を画像として復元できれば、その画像と視対象そのものを直接比較することが可能となる。この比較により、例えば技術的には問題なく製作されたはずの3D CGに対して、ヒトがそれほどリアルさを感じないような場合に、臨場感を増強させるためには視対象に何が欠けているのか、あるいは逆にヒトがリアルさを感じているのは視対象のどの部位なのかを同定する新しい映像評価技術の開発へと繋がる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to reconstruct 3D images based on the brain response patterns, obtained using fMRI and MEG, corresponding to perceived stereoscopic feelings caused when observers view 2D (not 3D) images. As the first step, we have developed a 3D image database, called "3D Koto(ancient city)", which consists of over 10,000 4K 3D stereo images of natural scenes taken in Kyoto and Nara. As the second step, we have developed fMRI brain activity database which consists of 5 observers' fMRI brain responses for 2,400 3D images selected from the "3D Koto" database. We are now working on the elaboration of a model to reconstruct the stereoscopic structures represented in human brain responses. We are now trying to our best so as to publish the model and papers as soon as possible. The related database and fMRI responses will be also organized so that they can be publicly available for free.

研究分野：実験心理学

キーワード：fMRI 視覚 立体視 3D 認知 物体知覚 バーチャルリアリティ データベース

1. 研究開始当初の背景

最近の映像技術の革新により、3D 映画・テレビに代表されるような視覚情報を 3 次元空間で表現するデバイスが現実のものとなりつつある。これにより、従来よりも臨場感に溢れる映像の供給や、限られた空間を有効に利用した情報の提供が可能となり、映像産業の新たな発展が期待できる。ヒトの日常の視覚が当然のように 3 次元で成立していることから、3D 映像技術の開発はデバイスの小型化や低価格化のみがボトルネックであり、3D 視の理論自体は単純であるかのように思われるかもしれない。しかし、ヒトがなぜ世界を立体的に知覚できるのか、その詳細なメカニズムはまだ解明されておらず、映像技術の開発は必ずしもヒトの脳の処理に合わせて最適化されていないのが実情である。一方で、ヒトの立体視システムの解明を目指す心理学的な研究において、その知見の具体的な応用までを視野に入れた研究はほとんどなされてこなかった。この両者のギャップを埋めることは、産学連携の面から意義のある試みである。これが実現すれば、例えば、3D テレビ画面で遠くに位置する視物体の陰影を脳の働きを考慮して強調することができれば、両眼手掛かりを使わずに立体感を増すといった、より安定した 3D 映像呈示技術の開発へと繋がる。よって、神経科学者・心理学者と 3D 映像呈示デバイスの開発を目指す工学者との連携が今後ますます重要になる。以上の点を踏まえて、本研究では、心理・神経科学の研究から得られた基礎的知見の情報学的な課題への応用を試みた。

2. 研究の目的

本研究では、fMRI(functional Magnetic Resonance Imaging; 磁気共鳴映像法)を用いて取得した立体感に関わる脳活動を、エンコーディング・モデルや機械学習法を用いてモデル化および解析し、2 次元の画像(写真など)を見た際に被験者が感じている「立体感」を画像・映像として復元する技術の開発を目指す。

この提案技術が実現すれば、以下の学術的・社会的貢献が期待できる。

- (1) **新しい映像評価技術を提供するとともに、より臨場感あふれる映像制作のための知見をもたらす**
ヒトの「立体感」と視対象の物理的な特性は、必ずしも 1対1に対応しないことが知られている。ここで、ヒトの脳内に再現された「立体感」を画像として復元できれば、その画像と視対象そのものを直接比較することが可能となる。この比較により、例えば技術的には問題なく製作されたはずの 3D CG に対して、ヒトがそれほどリアルさを感じないような場合に、臨場感を増強させるためには視対象に何が欠けているのか、あるいは逆にヒトがリアルさを感じているのは視対象のどの部位なのかを同定する新しい映像評価技術の開発へと繋がる。
- (2) **新しい映像エンターテインメントの提供**
提案する技術が将来的に、fMRI などの大がかりな装置ではなく、ポータブルな脳機能計測装置(例えば、脳波や NIRS など)との組み合わせによる利用が可能となれば、ポータブルカメラで撮影された 2次元写真や映像を家庭で 3次元画像へと変換しての鑑賞や、バーチャル・リアリティへの応用など、次世代エンターテインメント技術として活用が可能である。
- (3) **新しい人工知能技術へ向けた基礎的知見の提供**
Deep Learning に代表されるような現行の人工知能技術は、ヒトの知的活動の全てを代替できるように報道されることもあるが、実際にはその限界も指摘されており、1例として、現行の Deep Learning では本研究が扱うヒトの「立体感」を学習できないことが明らかになっている。よって、ヒトの脳が立体感をどのように処理して表現しているのか、その脳内情報処理システムを明らかにすることは、単なる学術的な意義を越えて、脳の仕組みに習って現行の人工知能技術を発展させるための 1つの足がかりとなりうる。
以上の観点から、本申請課題は萌芽研究として挑戦する価値のある重要な研究テーマである。

本研究は、種々の手掛かりが脳のどこでどのように処理され、立体感へと「変換・統合」されるのか、その統一的な解明を試みる点で当該分野の知見を深化させるものであり、立体視の基礎研究としても十分な価値がある。また、その成果からヒト脳内の「立体感」処理機構を知り、その脳の仕組みに学ぶことで、現行の Deep Learning などが抱える問題点を克服するための新しい技術開発へと繋がる可能性を秘めている。さらに本研究課題は、新たなロボットビジョンの開発、臨場感あふれる新しい映像エンターテインメントの提供、新しい映像評価技術への発展など、直接産業応用が可能であるため、単に新たな学術的知見を得るに留まらず、産学連携をも視野に入れたインパクトの高い研究となりうる。

具体的な例を挙げれば、立体感の画像化により、「外界の視対象の物理特性」と「ヒト脳内の表象(知覚内容)」との乖離を可視化して直接比較を可能とする本研究は、今後のロボットビジョン開発に欠かせない技術である。というのも、ヒトはいわゆる「錯視」を経験し、例えば直線を曲線のように知覚する場合がある。そうした知覚の錯誤に対し、人工知能が常に外界の物理特性のみを反映した解を提供しているだけでは、ヒトと機械の円滑なコミュニケーションに支障が生じるだろう。本研究で開発する手法を応用すれば、ロボットビジョンにこの知覚の乖離を回避する機構を埋め込むことができるだろう。このように本

研究は重要かつ分野横断的な情報基盤技術となりうるため、挑戦的研究として取り組むべき十分な意義を有する。

3. 研究の方法

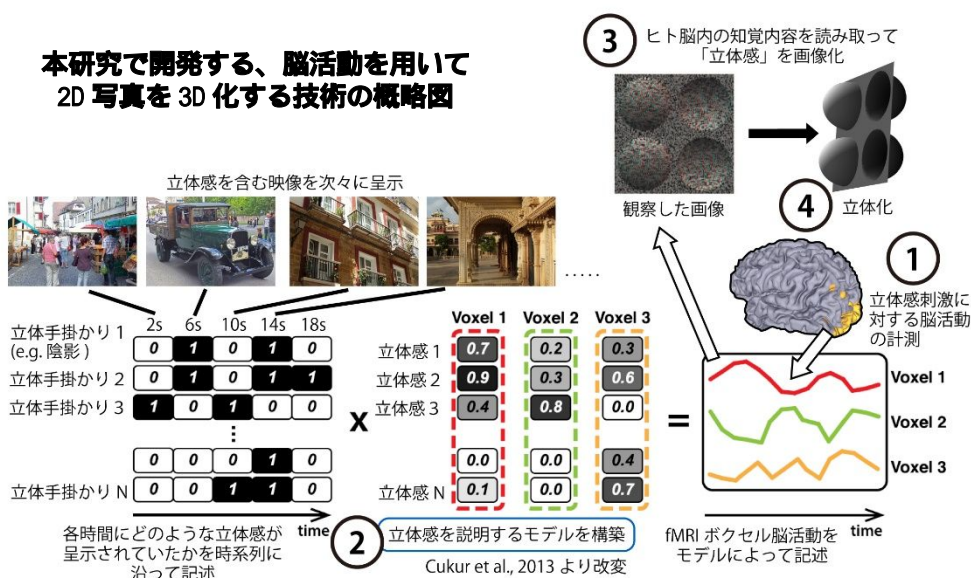
本研究は下記の4段階のステップで進めた(下図参照)。

第1段階では、後述の脳機能イメージング実験、心理行動実験で使用する3D自然風景画像を収集し、データベースとして整理した。最終的なデータベースは、4K解像度、10,000枚以上の京都、奈良の3D自然風景画像からなり、「3D 古都」と命名した。

第2段階では、簡単な心理行動実験による画像の選定(3Dが正しく知覚できる画像かどうか、などを判定する)とパイロットfMRI実験を経て、特に3Dがはっきりと知覚できる画像に対する5名の被験者fMRI脳活動の繰り返し計測を行った。脳活動計測では、3~5秒おきに3D写真を1秒間ずつ次々に呈示し、ヒト脳活動を計測した。1人の被験者につき、2時間の計測を5~6回行い、合計2,400~5,000枚程度の3D風景画像に対する脳活動を計測した。脳機能イメージング計測実験は、800枚程度の呈示毎に十分な休憩を挟み、あるいは撮像日を変え、実験協力者の疲労・負担の低減につとめた。このほか、全ての実験手続きの詳細は、実験開始前に情報通信研究機構の生体情報倫理委員会により承認を受け、また、情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センターの安全委員会による安全性の審査を受けた上で、適正に実施した。

第3段階では、得られた脳活動(各ボクセルの応答)と画像に含まれる立体情報(各ピクセルあるいは複数のピクセルからなる領域に含まれる立体の強弱(近い、遠いなど)と立体感を惹起する手掛かりの種類)との関係性をエンコーディング・モデル(Kay et al., 2008; Nishimoto et al., 2011)で記述した。この手法は、刺激に含まれる立体感手掛かりの種類・強度に基づいて、fMRI時系列信号を推測するモデルを作成するものであり、すでに2次元画像のシーン同定や色知覚(Brouwer & Heeger, 2013)の研究で用いられてきたが、立体表象の研究に適用するのは本申請が最初である。また、モデルには両眼視差情報だけでなく、上に述べた陰影などの単眼性の手掛かりに関する知見も組み込む。また、上記のエンコーディング・モデルや機械学習法を使って、ヒトの脳活動から立体感をデコードするための分類器を構築する。

第4段階では、第1段階と同じ観察者が2次元の風景画像を観察している際(注:2次元の画像からヒトは3次元構造を知覚している)の脳活動を計測し、その脳活動に対して上の3D分類器を適用することにより、被験者の脳内で再現されている「立体感」を抽出する。具体的には、例えば両眼視差手掛かりから立体感を感じている際の脳活動と、単眼の絵画的な手掛かりから脳が立体感を感じている際の脳活動とを対応付け、重み付け加算などにより単眼手掛かりを両眼手掛かりへと変換するための式を見いだす(なお、この視覚「手掛かり」の処理にかかる研究から派生し、どのような手掛かりからヒトが生き物らしさを感じているか、その手掛かりを処理する脳部位はどこか、を調べるfMRI実験も実施した)。この式を用いて抽出した立体感を3次元構造として2次元の写真に付与することで、2次元画像から3次元構造の復元および画像化を実現する。なお、この第3、4段階は現在も研究を遂行中である。完成次第成果を学会、論文誌で発表する予定である。また、本研究プロジェクトで整備した3D自然風景画像デー

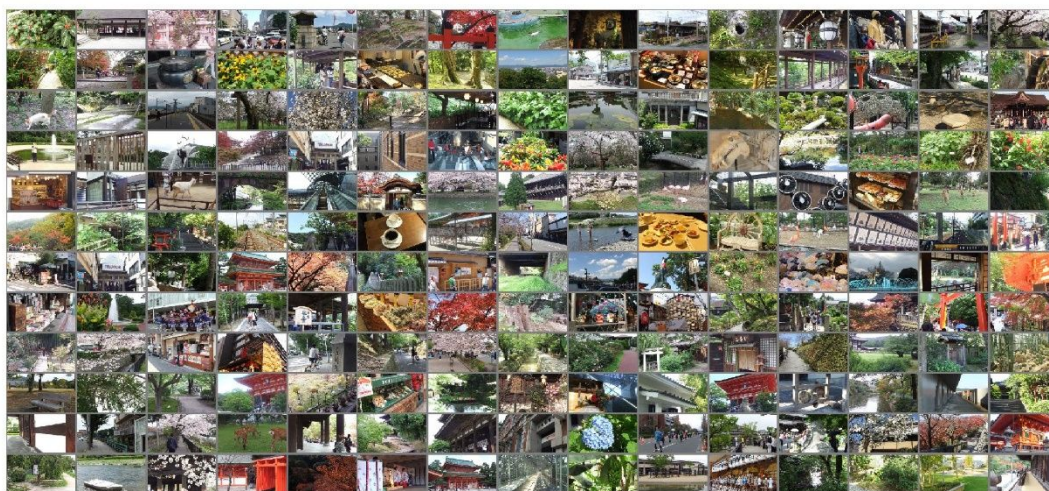


波及効果、意義
 新しい映像評価技術の開発、次世代映像エンターテインメントの創出、脳に倣った人工知能技術開発への知見

データベース「3D 古都」は、本研究にかかる論文を発表した後に、社会還元の一環として一般公開を予定している。

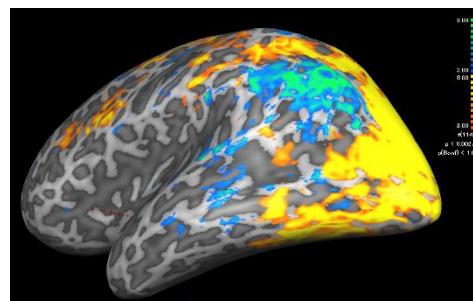
4. 研究成果

本研究でまとめた「3D 古都」データベースの一部を図に示す。研究の方法に述べた通り、このデータベースは 4K 解像度、10,000 枚以上の京都、奈良で撮影された 3D 自然風景画像からなる。実際の 1 枚の風景画像は、左眼用、右目用の 2 枚の画像からなり、両眼視差ほか、陰影や遮蔽などの絵画的奥行き手掛かりによって立体感が知覚される。



本研究で構築した 3D 自然風景画像データベース「3D 古都」に含まれる画像例

また、この画像データベースのうち、特に立体感を感じる 2,400-5,000 枚の画像に対する fMRI 脳活動も取得した(右図参照。画像数のばらつきは、実験協力者の実験参加回数により、取得した脳活動データ数の異なりによる)。こうした脳活動に対して、それぞれ対応する 3D 画像に含まれる特徴(両眼視差や絵画的奥行き手掛かり)を使い、その応答パターンを予測するモデルを構築した。これによって、観察者が感じている「立体感」を画像として再構成する手法を開発した(この再構成部分は現在も研究を実施中)。



「3D 古都」の画像に対する fMRI 脳活動の例

本研究の今後の発展として、次の 2 つの研究を実施することを考えている。

まず、現在はヒトが立体情報を処理する際の脳活動の空間的なパターンにのみ着目して研究を進めてきたが、「3D 古都」データベースに対して MEG 脳活動計測実験も行うことで(MRI は空間解像度に優れるが、時間解像度は数秒程度であるため、時間解像度に優れる MEG のデータと相補的な解析を行う予定である)、立体情報処理に関わる時間的な変化をより詳細に捉えたい。これにより、立体感(臨場感)を最も感じるタイミングで画像に何らかの情報を付与し、ヒトが画像から感じる印象をより鮮明にするような介入技術の開発が可能となるかもしれない。

また、2D の画像に対しては、その画像を観察中の観察者の眼球運動を詳細に検討することで、画像のどこに観察者の注目が向くのか等を調べた多くの研究が存在する(例えば、人物の写真においては目の周辺が自動的に注視されることが明らかになっている)が、3D 空間のどこにヒトの視線が停留するのか、リアルな 3D 風景に対する眼球運動を精緻に計測した研究はほとんど存在しない。これは 1 つには、従来、心理行動実験に耐えうる 3D 画像データベースが存在しなかったことが原因である。また、2 つめの理由として、眼球運動に加えて輻輳角を正確に計測することが困難であったことが挙げられる。しかし、本研究を通じて 3D 自然風景画像のデータベースを整備し、1 つ目の問題を解決することができた。また、2 つめの問題に関しては、最近、輻輳角も正確に計測可能な眼球運動記録装置が発表されている。この装置を利用することで、我々の 3D 写真データベースを観察中の 3D 空間上での眼球運動を計測する研究も行いたい。3D 空間におけるヒトの眼球の動きが明らかになれば、バーチャル・リアリティ上でどこに視対象を呈示するのが最適かを決めたり、危険に対してアラートを出す空間位置をより安全に決めるために役立つような重要な基礎的知見を提供することができるだろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Marcelo Armendariz, Hiroshi Ban, Andrew E. Welchman, Wim Vanduffel	4. 巻 17
2. 論文標題 Areal differences in depth cue integration between monkey and human	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PLOS Biology	6. 最初と最後の頁 1-32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pbio.2006405	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Nicole, H. L. Wong, Hiroshi Ban, Dorita H. F. Chang	4. 巻 32
2. 論文標題 Human depth sensitivity is affected by object plausibility	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Cognitive Neuroscience	6. 最初と最後の頁 338-352
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1162/jocn_a_01483	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 5件/うち国際学会 8件）

1. 発表者名 金谷翔子、藤田一郎、番浩志
2. 発表標題 ヒト脳内における両眼視差の平均および分散の階層的な推定・表現機構
3. 学会等名 日本視覚学会冬季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wundari, B.G., Ban, H., Fujita, I.
2. 発表標題 Neural Substrate for Reversed-Depth Perception Generated by Anti-Correlated Random-Dot Stereograms in the Human Brain
3. 学会等名 Asia Pacific Conference on Vision（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wu, H.N., Ikeyaga, Y., Ban, H.
2. 発表標題 Oblique effect in 3D gradient discriminations revealed by psychophysics and MEG
3. 学会等名 Asia Pacific Conference on Vision (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 番浩志
2. 発表標題 fMRIヒト脳機能イメージングで分かる立体視(3D)情報の脳内統合過程とその産業応用
3. 学会等名 NTTデータ経営研究所 第3回CiNet脳情報研究WS (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 番浩志
2. 発表標題 ヒトはなぜ3Dを見ることができるのか～3次元知覚を実現する脳の情報処理メカニズムとその特性～
3. 学会等名 株式会社技術情報協会・企業向けセミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wundari, B.G., Ban, H., Fujita, I
2. 発表標題 Characterization of stereoscopic information processing in human brain using reverse depth perception stimulus
3. 学会等名 The Japan Neuroscience Society 42nd Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Chang, D.H.F, Troje, N.F., Ban, H
2 . 発表標題 Spatiotemporal characteristics of cortical responses to biological motion
3 . 学会等名 Vision Science Society Annual Meeting 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Wu, H.N., Ikegaya, Y., Ban, H
2 . 発表標題 Cortical dynamics for compensating visual orientation sensitivity bias
3 . 学会等名 Human Neuroimaging Workshop
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Wu, H.N., Ikeyaga, Y., Ban, H
2 . 発表標題 Temporal compensation of orientation selectivity bias in early visual areas
3 . 学会等名 The Japan Neuroscience Society 41st Annual Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 8.Wu, H.N., Ikeyaga, Y., Ban, H
2 . 発表標題 Reverse Radial Bias: Temporal Compensation of Orientation Bias in Early Visual Areas Revealed by MEG
3 . 学会等名 Vision Science Society Annual Meeting 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Chang, DHF., Ban, H., Ikegaya, Y. Fujita, I, Troje, N.
2. 発表標題 Biological motion perception in the human brain: A subcortical locus?
3. 学会等名 知覚と記憶情報処理過程に関するシンポジウム (華東師範大学・上海) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ban, H.
2. 発表標題 The fusion of pictorial /motion and binocular disparity cues to depth in dorsal visual cortex.
3. 学会等名 知覚と記憶情報処理過程に関するシンポジウム (華東師範大学・上海) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 番浩志
2. 発表標題 fMRIで明らかになったヒト大脳皮質視覚野の立体視情報処理過程 -経路
3. 学会等名 視覚科学フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Wu, H.N., Ikeyaga, Y., Ban, H.
2. 発表標題 Reverse Radial Bias: Temporal Compensation of Orientation Bias in Early Visual Areas Revealed by MEG.
3. 学会等名 Vision Science Society 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wu, H.N., Ikeyaga, Y., Ban, H.
2. 発表標題 Temporal compensation of orientation selectivity bias in early visual areas.
3. 学会等名 日本神経科学会2018年大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----