

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：82636

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870911

研究課題名(和文)脳機能イメージング法によるヒト脳内奥行き情報処理機構の解明とその応用

研究課題名(英文)Neuroimaging of human 3D depth perception and its applications

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・研究員

研究者番号：00467391

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本課題は、fMRI法と心理行動実験を組み合わせ、ヒト大脳皮質視覚野における視覚的奥行き(3次元視覚)情報の処理過程を明らかにすることを目的として遂行された。特に、

1. 様々な奥行き文脈・手掛かり(両眼視差、陰影、運動視差など)がどのように統合されているのか、2. ローカルな奥行き情報が脳のどこでどのようにグローバルな3D形態情報に変換されているのか、を明らかにする研究を行い、その成果はCurrent BiologyやJournal of Neuroscienceなどの国際誌に発表され、その研究内容の一部は国際誌上で他研究者に紹介されるなど注目を集めた。

研究成果の概要(英文)：A fundamental challenge in visual neuroscience is to understand how the outputs of neurons responding to local, simple elements are progressively transformed to encode the critical features of spatially-extensive objects. While models of the ventral stream detail the decoding transformations that support invariance, much less is known about the dorsal hierarchy. In this research project, using human fMRI, I especially focused on the cortical processing of binocular depth signals that strongly engage dorsal pathways. In addition, I tried to reveal how and where in the brain binocular disparities and pictorial depth cues (e.g. shading, motion) are fused into a unified depth representation. I found that local binocular disparities are gradually integrated into a coherent 3D surface from V1 to V3B, and that multiple depth cues are integrated in V3B, an adjacent region of V3A. I further tried to apply those findings for future novel 3D visualization techniques.

研究分野：実験心理学

キーワード：fMRI 奥行き知覚 3D 視覚心理学 神経科学 視知覚

1. 研究開始当初の背景

私たちが目にする自然風景は、無数の物体が複雑に重なり合って構成されている。よって、ある視対象に目を向けた時、その視対象が単独で眼に映ることはまれで、通常は他の物体と渾然一体となって網膜上に投影される。また、左右の網膜に投影された時点で、外界の情報は網膜の2次元平面に圧縮されている。それにも関わらず、ヒトは複雑で不完全な網膜像から豊かな3次元世界を即座に再構築できる。このとき、私たちの視覚系は視対象を単独で処理するのではなく、空間的・時間的に近接する周辺の視覚情報との文脈、関係性も踏まえて、それらを統合的に解釈する柔軟な処理を行っている。例えば、私たちの視覚システムは、左右の網膜像のわずかな違い(両眼視差)や視対象の陰影、表面テクスチャの勾配などの「奥行き手掛かり」をうまく利用して、不完全な網膜像から豊かな3次元世界を再構築している。

こうしたヒト脳が備える視覚文脈処理、奥行き処理のメカニズムは、現行の最新のコンピュータとアルゴリズムを用いても模倣が不可能なほど柔軟性に富み、高精度なものである。よって、ヒト脳内で断片的かつ不完全な網膜像からどのように安定した3次元知覚像を再構成しているのかを解明することは、神経科学の基礎的な理解・発展に貢献するのみならず、マシン・ビジョンの開発を目指す工学やコンピュータサイエンスの応用研究分野にとっても大きな貢献が期待できる重要な研究課題である。一方で、従来多くの視覚 fMRI 研究では、傾き線分(格子模様)、あるいは顔や建物といった単一カテゴリーの物体が視覚刺激として用いられ、またそれらは2次元画像として呈示されるため、ヒト脳内の奥行き処理メカニズムは、2次元の物体同定メカニズムや視覚的注意の効果調べた研究などと比べて研究が遅れている。

2. 研究の目的

そこで本申請研究は、ヒト奥行き情報処理過程を対象とし、心理学・神経科学の基礎的な研究を進めるとともに、その知見の応用にも力を入れて取り組んだ。より具体的には、まず第1に「目的1: fMRI(functional magnetic resonance imaging; 機能的磁気共鳴映像)法を用いてヒト脳内奥行き処理メカニズムの解明」を目指す。特に、奥行き文脈処理の仕組み、陰影や運動、テクスチャの勾配といった2次元の奥行き手掛かりがどのように3次元情報あるいは「形態」の情報に変換されるのか、それらの手掛かりと両眼視差(3次元手掛かり)の統合は脳のどこで行われているのかを明らかにするための研究を行った。第2に、得られたヒト脳内視覚情報処理の知見を利用することで、「目的2: 2次元の画像を観察した際にヒトが知覚するで

あろう3次元構造を推測し、その3次元構造を両眼ステレオ画像として復元する技術の開発」を目指した。その技術を応用することで、新しいヒューマン・マシン・インターフェース開発へと繋がる足がかりを得ることを目標とした。

3. 研究の方法

本研究は、研究手法として心理行動実験とfMRI(functional magnetic resonance imaging; 磁気共鳴映像法)を用い、3D視覚刺激を観察中のヒト脳活動を行動指標とともに取得した。

実際の脳活動の計測には、情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センターのSiemens 3T MR スキャナを用いた。各実験につき15-30名程度の被験者の協力を得た。

実験に当たっては、刺激に含まれる手がかりから知覚される奥行きの強度を被験者ごとに揃えるために行動実験を実施した。行動実験で得られたパラメータに基づいて刺激を作成し、fMRI撮像を行った。撮像は2-3度に分けて行い、1度目の撮像でヒト脳内レチノトピー表象をマップし、視覚野の同定を行った(ローカライザー実験)。2度目の撮像では、3D手がかりの有無・強弱が脳活動に与える影響を調べる。また、2次元手掛かりが両眼視差(3次元手掛かり)とどのような関係を持つか(両者は脳内で別々の表象なのか、最終的に同じ「奥行き」という抽象的な表現に変換されているのか)を明らかにすることも、奥行き処理過程を調べる上で重要な研究テーマである。よって、3度目の実験では、複数の奥行き手がかりを呈示して脳活動を計測した。得られた脳活動を陰影の条件と比較することで、様々な奥行き手掛かりが脳でどのように処理・統合されているのか、その様態を調べた。

4. 研究成果

本研究は、上に掲げた2つの目的を達成するため、2段階で進めた。

「目的1: fMRI(functional magnetic resonance imaging; 機能的磁気共鳴映像)法を用いてヒト脳内奥行き処理メカニズムの解明する」に関しては特に下記の3つの成果を挙げた。

- (1) ローカルな両眼視差情報がどのようにグローバルな物体表面へと変換されるのか、その過程を調べる fMRI およびニューラルシミュレーション実験を行い、初期視覚野 V1 から背側視覚野 V3A にかけて、両眼視差情報が階層的に統合されていく過程を明らかにした(図1)。その成果は Journal of Neuroscience 誌に発表された。
- (2) 子供は、11歳頃になるまで複数の3D手がかり(例えば、両眼視差と運動視差)を

大人のように統合することができないことが知られていた。手がかりが統合できないのは、次に挙げる2つの可能性が考えられる。1つは、視覚経験が足りず統合された情報を引き出せないことによるとする説明で、もう1つは、それとも脳が未発達のためにそもそも統合できていないとする説明である。これら2つの説明のうち、どちらが正しいのか、奥行き視は長い研究の歴史があるにもかかわらず、決着がついていなかった。研究代表者とその研究グループは、fMRI計測と多変量データ解析手法を組み合わせることで、少なくとも奥行き手がかりの統合においては後者の仮説が正しいこと、すなわち、11歳頃に脳の視覚野V3Bに変化が起き、その後手がかりが統合できるようになることを突き止めた。その成果は、Current Biology誌に掲載され注目を浴び、同雑誌のDispatch(研究紹介)コーナーにおいて2度にわたってハイライトされた。我々のこの発見は、例えば、少年スポーツの現場で10歳以下の選手をトレーニングする際には、大人とは異なる特別なトレーニング法を配慮しなければならないことを脳科学的に実証したもので、実社会にも大きなインパクトを与えるだろう。

(3) ヒトは3D手がかりを用いて物体表面の光沢感を知覚することができる。その知覚に関わる脳内処理機構をfMRI実験を通して明らかにした。成果はJournal of Neurophysiology誌に掲載された。

そのほか、いくつかの研究を通じて、初期視覚野V1から中・高次の視覚野V3A・V3Bへと至る3D視覚情報の階層的な処理経路と、各視覚野が担当する情報処理の内容を明らかにすることができた。

「目的2:2次元の画像を観察した際にヒトが知覚するであろう3次元構造を推測し、その3次元構造を両眼ステレオ画像として復元する技術の開発」については、残念ながら目的1で得られた結果に基づいて3次元構造

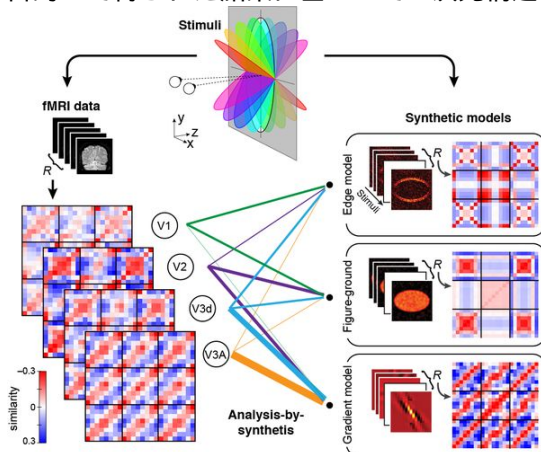


図1 ローカルな両眼視差情報がグローバルな物体表面へと階層的に変換されていく様子

をモデル化する手前で2年の研究期間が終了してしまった。今後、今までに得た成果・データを用い、この残された研究課題について継続的なモデリング研究およびfMRI脳活動計測研究を行う予定である。

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7件)

1. Sun, H.-C., Di Luca, M., Ban, H., Murry, A., Welchman, A.E. (2016). Differential processing of binocular and monocular gloss cues in human visual cortex. Journal of Neurophysiology. DOI:10.1152/jn.00829.2015 (査読有)
2. Dekker, T., Ban, H., van der Velde, B., Sereno, M.I., Welchman, A.E., Narandini, M., (2015). Late development of cue integration is linked to sensory fusion in cortex. Current Biology, 25(21), 2856-2861. DOI:10.1016/j.cub.2015.09.043 (査読有)
3. Ban, H., Welchman, A.E. (2015). fMRI analysis-by-synthesis reveals a dorsal hierarchy that extracts surface slant. The Journal of Neuroscience, 35(27), 9823-9835. DOI:10.1523/JNEUROSCI.1255-15.2015 (査読有)
4. Goncalves, N. R., Ban, H., Sanchez-Panchuel, R.M., Francis, S., Schluppeck, D., Welchman, A.E. (2015). Ultra-high field fMRI reveals systematic functional organization for binocular disparity in human visual cortex. The Journal of Neuroscience, 35(7): 3056-3072. DOI:10.1523/JNEUROSCI.3047-14.2015 (査読有)
5. Ban, H., Chang, DHF, Welchman, A.E. (2015) fMRI脳機能イメージングとTMS法で明らかになったヒト脳内における3D視覚情報の処理と統合. 映像情報メディア学会誌. 69, 10-15. <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009999457> (査読なし、招待解説論文)
6. Pelekanos, V., Ban, H., Welchman, A.E. (2015). Brightness masking is modulated by disparity structure. Vision Research. 110, 87-92. DOI:10.1016/j.visres.2015.02.010 (査読有)
7. Sun, H.-C., Ban, H., Di Luca, M., Welchman, A.E. (2015). fMRI evidence for areas that process surface gloss in

the human visual cortex. Vision Research, 109(B), 149-157. DOI:10.1016/j.visres.2014.11.012 (査読有)

〔学会発表〕(計 13 件)

1. Ban, H. (2016). Dorsal cortical pathway that translates local binocular disparities into 3D surfaces. Maastricht University 研究会. 2016年3月10日(マーストリヒト・オランダ)
2. 番浩志 (2016). 基礎心理学会フォーラム「脳イメージングで探る3次元の世界」.(2016年3月17日、東北学院大学(宮城県・仙台市))
3. 番浩志 (2015). ヒトはなぜ3Dを見ることが出来るのか? - fMRI で明らかになった立体視手掛かりの脳内処理経路 -. NHK 放送技術研究所所内セミナー (2015年12月14日、NHK 放送技術研究所(東京都・世田谷区))
4. 番浩志 (2015). ヒトを対象とした視知覚の脳機能画像研究 ~ MATLAB による解析の実際. 実ビジネスへの応用例でみるヒューマンデータセンシングとアナリティクス ~ ウエアラブル技術からの生体信号、機械学習の適用 ~ Mathworks Japan and NTT データ経営研究所. (2015年12月3日、品川シーズンテラスカンファレンス(東京都・港区))
5. Ban, H. (2015). Seeing slant: fMRI analysis-by-synthesis reveals a cortical hierarchy that extracts 3D-surfaces. The 6th FAONS Congress and 11th Biennial Conference of the Chinese Neuroscience Society. (2015年9月21日-23日(22日発表) 烏鎮・中国)
6. 番浩志 (2015). fMRI 脳機能イメージングと TMS 法で明らかになったヒト脳内における 3D 視覚情報の処理と統合. 映像情報メディア学会年次大会 2015、シンポジウム「脳と映像情報メディア」.(2015年8月27日 東京理科大学葛飾キャンパス(東京都・葛飾区))
7. Goncalves, N.R., Zimmermann, J., Ban, H., Goebel, R., Welchman, A.E. (2015). A preference for stereopsis in deep layers of human primary visual cortex. ECV2015: European conference on visual perception (2015年8月22-27日 University of Liverpool (リバプール・英国))
8. Dekker, T., Ban, H., Sereno, M., Welchman, A., van der Velde, B., Nardini, M. (2015). Representational changes in retinotopic cortex during the development of depth cue combination in childhood. Vision Science Society 2015 (2015年5月15

日-20日, TradeWinds Island Resorts, (フロリダ・米国))

9. Sun, H., Di Luca, M., Fleming, R., Murry, A., Ban, H., Welchman, A.E. (2015). Brain processing of gloss information with 2D and 3D depth cues. Vision Science Society 2015 (2015年5月15日-20日, TradeWinds Island Resorts, (フロリダ・米国))
10. Ban, H., Ikegaya, Y. (2015). Cortical representations of object motion trajectories in 3D space. Vision Science Society 2015 (2015年5月15日-20日, TradeWinds Island Resorts, (フロリダ・米国))
11. Ban, H. (2015). Translating local binocular disparities into global 3D surface structures along dorsal visual hierarchy 中国実験心理学会年次大会 2015 (2015年5月9日、蘇州・中国)
12. 番浩志 (2014). ヒト背側視覚経路における階層的な奥行き視情報の処理: fMRI および行動実験によるアプローチ. 関西若手心理学研究会 (2014年7月26日、大阪大学吹田キャンパス人間科学部棟(大阪府・吹田市))
13. 番浩志 (2014). ヒト初期(V1/V2)および背側視覚野 V3A、V3B/KO における奥行き視情報の処理と統合 生理学研究所研究会「視知覚の現象・機能・メカニズム - 生理学的、心理物理学的、計算論的アプローチ」生理学研究所 (2014年6月12日-2014年6月13日(愛知県・岡崎市))

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<https://cinet.jp/people/2014464/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

番 浩志 (Hiroshi Ban)

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・研究員

研究者番号： 00467391

(2) 研究分担者

特になし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

特になし ()

研究者番号：