

令和 6 年 5 月 14 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04200

研究課題名（和文）視覚・感性認知機能の創発メカニズムの構成論的解明

研究課題名（英文）Constructive approach to investigate the emergent mechanisms of visual and sensory function

研究代表者

林 隆介（Hayashi, Ryusuke）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：80444470

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,000,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、脳の視覚情報処理の知見や学習原理、情報処理制約、ネットワーク構造に基づき、脳の視覚情報表現に近い、表現様式を獲得する、深層ニューラルネットワーク開発と感性情報学的解析、ならびに脳機能活動データ計測とその検証を行った。具体的には、動画処理ニューラルネットワークの解析、教師なし学習フレームワークである敵対的生成ニューラルネットワーク(GAN)による視覚表現の解析とハードウェア実装への展開、fNIRS計測、多点電極による神経記録、視覚、言語、脳情報における概念情報表現の検討などを行い、研究成果を学会発表ならびに論文発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果で得られた深層学習フレームワークに関する知見は、脳が符号化する視覚情報表現と近い情報表現の機械学習による獲得手法に関して新たな知見を提供した点で学術的意義があると考え。将来、記録した神経活動データから、視覚体験を可視化するブレイン・マシン・インタフェース技術のような、工学応用を通して、より社会の実現に貢献できると考える。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a deep neural network that acquires a representation style similar to the brain's visual information representation based on the knowledge of visual information processing in the brain, learning principles, information processing constraints, and network structure. We analyzed the deep neural network from the viewpoint of sensory informatics, and measured and verified functional brain activity data. Specifically, we analyzed 1) neural networks for video processing, 2) analyzed visual representations using adversarial generative neural networks (GAN), which is an unsupervised learning framework, and developed them into hardware implementations, and 3) examined fNIRS measurements, neural recordings using multi-point electrodes. We also investigated 4) conceptual information representations in visual, language, and brain information. The research results were presented at conferences and published in papers.

研究分野：視覚科学

キーワード：深層学習 視覚情報処理 感性情報処理

1. 研究開始当初の背景

われわれの脳は、発達過程における自然な視覚体験を通じて、視覚・感性認知機能を自律的に獲得していると考えられる。研究開始当初の時代背景として、深層学習研究の進展により、一般物体認識をはじめとする視覚機能が工学的に実装できるようになったが、多くはフィードフォワード型のニューラルネットワークに教師信号を与えた学習手法で実現する手法が主流であった。より脳の視覚情報表現に近い深層学習フレームワークの構築が望まれていた。さらに、視覚入力に対する感性評価処理については、視覚情報表現から感性情報表現への写像として、計算論的に記述できると考えられるが、未だ解明がすすんでいない。生体の脳のような視覚情報表現が獲得できれば、これまで困難だった視覚情報と感性情報との接地化が可能になり、感性情報処理の理解に貢献できると考えた。

2. 研究の目的

本研究は、脳の視覚情報処理の知見や学習原理、情報処理制約、ネットワーク構造に基づき、脳の視覚情報表現に近い、表現様式を獲得する、深層ニューラルネットワーク開発を目的とする。そして、主に非ヒト霊長類から神経活動ならびに脳機能活動を計測し、神経活動データを評価尺度として、提案モデルの生物学的妥当性を検証することをめざした。また、視覚表現と感性表現をつなぐ第一歩として、視覚表現と言語表現との関係性を解析することを目標とした。

3. 研究の方法

コンピュータ・ビジョン研究の分野では、脳のフィードフォワード処理を模倣した多層の畳み込み型ニューラルネットワーク(Deep Convolutional Neural network, DCN)を使って、静止画データと教師信号を学習することにより、一般物体認識をはじめとする視覚認知機能が工学的に実装されてきた(Krizhevsky et al., 2012)。しかしながら、脳ではフィードフォワード処理だけでなく、フィードバックを含む双方向の情報処理が行われる(Rao & Ballard, 1999)。脳における視覚情報処理は、大きく腹側経路と背側経路に分かれ、腹側経路は、一般物体認識の観点から主に研究が進められ、背側経路については、運動視の観点から研究が進められてきた(Ungerleider & Mishkin, 1982)。本研究では、両経路の深層ニューラルネットワーク研究を行った。

また、脳は、発達過程における自然な視覚体験を通じて、基本的な視覚・感性認知機能を獲得していることを考えると、その視覚情報表現も、視覚入力から自己組織的に獲得されている可能性が高い。そして、視覚情報処理装置としての脳は、階層的な畳み込み演算により、多様な視覚入力を復号化可能な形で圧縮表現する符号化装置ととらえることができる。そこで、画像の生成と復号化を担うニューラルネットワークを教師なし学習できるGAN(敵対的生成ニューラルネットワーク)などのフレームワークを利用した深層学習研究を実施した。

生物学的妥当性検証の方法として、既存の神経科学的知見との対応だけでなく、非ヒト霊長類から神経活動ならびに脳機能活動を計測し、基礎神経科学的知見に資する研究を実施しつつ、深層ニューラルネットワークとの比較検討を実施した。

また、視覚情報表現から感性情報処理については、画像情報と言語情報への転移学習の研究が注目される。本研究では、視覚、言語、脳情報における概念情報の表現を詳細に検討した。

4. 研究成果

1) 脳の視覚情報表現に近い、情報表現を獲得する深層ニューラルネットワーク開発の一環として、背側経路の運動視を想定した、時間と空間情報を含む3Dカーネルの畳み込み深層ニューラルネットワークによる動画認識処理の研究を共同研究実施した。

Kataoka et al.(2021)の研究成果として、3Dカーネルの畳み込み深層ニューラルネットワークによる動画認識処理の学習において、CG分野において広く知られる、方位と時間・空間周波数が限定された刺激セットを用いて、適切な事前学習を施すことで、ニューラルネットワーク初期層のニューロンが学習するカーネルの重みが、脳の1次視覚野のように方位と時間・空間周波数が限定された受容野構造を再現し、動画認識精度が向上することを明らかにした。

2) また、腹側視覚経路を模倣した深層ニューラルネットワークをGANで構成し、情報処理とエネルギー消費低減にも貢献する低ビット実装に関する共同研究を実施した。

研究成果は、Ohuchi and Hayashi (2022)として、国際会議 Proceedings として採択され、2022年5月発表された。

3) さらに、非ヒト霊長類を用いて脳機能計測実験として、fNIRS (機能的近赤外分光法) 計測を実施し、頭部表面から記録した信号を元に、皮質内部での機能活動を推定する DOT (拡散光トモグラフィ) を適用した。計測ならびに解析手法の妥当性を検証するために、記録が容易な頭頂部から記録した信号を解析し、手運動の活動源を高い精度で推定することに成功し、学会発表ならびに国際学術雑誌に論文発表した(林 他 2021; Hayashi et al., 2021)。側頭葉の視覚野から fNIRS 計測研究を実施し、同様に、DOT による解析を進めた。非ヒト霊長類を用いた腹側視覚経路の多点神経記録を実施し、データ解析を進めた。

4) また、GAN を使い、教師なし学習を行う深層ニューラルネットワークを開発し、独自の学習則に基づく実装により、脳の視覚情報表現に定性的に近い、表現が獲得できることを確認した。

5) 視覚表現と言語表現の対応を利用した、脳情報に関する感性情報処理について、共同研究を実施した。ヒトの fMRI データに基づき、単語別に脳内の概念表現を定量化し、被験者ごとの違いを検討した。研究成果は、bioRxiv として先行公開した他、学会発表を行い(林 他 2020)、国際学術雑誌論文として出版された(Matsumoto, Nishida, Hayashi, et al., 2023)。

<引用文献>

- Shinichi Ouchi, Ryusuke Hayashi, “Short Floating Point CNN Accelerator for Brain-Computer Interface Decoding Visual Information”, ISCAS 2022. 2022 IEEE International Symposium on Circuits & Systems, Austin, Texas USA, May 30, 2022. (google top20, h5-index:36). Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS22), IEEE Catalog Number: CFP22ISC-USB • ISBN: 978-1-6654-848.
- Hirokatsu Kataoka, Eisuke Yamagata, Kensho Hara, Ryusuke Hayashi, Nakamasa Inoue, “Spatiotemporal Initialization for 3D CNNs with Generated Motion Patterns”, WACV2022 (the 2022 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision), Hawaii, USA, Jan 4-8 2022. (Google top20 conference), pp.9876-9885. H5-index 62
- 林隆介, 山下宙人, 山田亨, 川口拓之, 肥後範行, 「拡散光トモグラフィを用いたサル運動関連脳活動の三次元画像再構成」, Proceedings of Optics & Photonics Japan 2021, 29pE3, p.359, 2021.
- Ryusuke Hayashi, Okito Yamashita, Toru Yamada, Hiroshi Kawaguchi, Noriyuki Higo, “Diffuse optical tomography using fNIRS signals measured from the skull surface of the macaque monkey”, *Cerebral Cortex Communications*, vol.3, issue 1, 2021;, tgab064. (Published 10 Nov, 2021)
<https://doi.org/10.1093/texcom/tgab064>
- 林 隆介, 松本 有紀子, 西田 知史, 孫 樹洛, 村上 晶郎, 吉川 長伸, 西本 伸志, 高橋 英彦, 「統合失調症患者における脳内意味表現のネットワーク異常」, 日本視覚学会 2020 年冬季大会, 横浜, 2020 年 1 月 11 日.
- Yukiko Matsumoto, Satoshi Nishida, Ryusuke Hayashi, Shuraku Son, Akio Murakami, Naganobu Yoshikawa, Hiroyoshi Ito, Naoya Oishi, Naoki Masuda, Toshiya Murai, Karl Friston, Shinji Nishimoto, Hidehiko Takahashi, "Disorganization of semantic brain networks in schizophrenia revealed by fMRI", *Schizophrenia Bulletin*, vol.49, no.2, pp. 498-506, 2023.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 6件）

| | |
|---|--------------------|
| 1. 著者名 Ryusuke Hayashi, Okito Yamashita, Toru Yamada, Hiroshi Kawaguchi, Noriyuki Higo | 4. 巻 3 |
| 2. 論文標題 Diffuse optical tomography using fNIRS signals measured from the skull surface of the macaque monkey | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Cerebral Cortex Communications | 6. 最初と最後の頁 1-16 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/texcom/tgab064 | 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 - |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Hirokatsu Kataoka, Eisuke Yamagata, Kensho Hara, Ryusuke Hayashi, Nakamasa Inoue | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Spatiotemporal Initialization for 3D CNNs with Generated Motion Patterns | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of WACV2022 | 6. 最初と最後の頁 9876-9885 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 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 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 林 隆介 | 4. 巻 33 |
| 2. 論文標題 視覚野の計算モデル：教師なし学習手法による視覚情報の表現分離 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 VISION | 6. 最初と最後の頁 63-76 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24636/vision.33.2_63 | 査読の有無 無 |
| 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 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 林 隆介 | 4. 巻 50 |
| 2. 論文標題 深層ニューラルネットワークを用いた質感の神経情報表現の理解にむけて | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 光学 | 6. 最初と最後の頁 321-327 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 無 |
| 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 - |

| | |
|--|--------------------|
| 1. 著者名 Satoshi Nishida, Yukiko Matsumoto, Naganobu Yoshikawa, Shuraku Son, Akio Murakami, Ryusuke Hayashi, Shinji Nishimoto, Hidehiko Takahashi | 4. 巻 2020 |
| 2. 論文標題 Reduced intra- and inter-individual diversity of semantic representations in the brains of schizophrenia patients | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 bioRxiv 2020 | 6. 最初と最後の頁 1-41 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/2020.06.03.132928 | 査読の有無 無 |
| 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 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 林 隆介 | 4. 巻 33 |
| 2. 論文標題 視覚野の計算モデル：教師なし学習手法による視覚情報の表現分離 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 VISION | 6. 最初と最後の頁 63-76 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24636/vision.33.2_63 | 査読の有無 無 |
| 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 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 河原 美彩子, 林 隆介, 田中 章浩 | 4. 巻 120-169 |
| 2. 論文標題 顔のテクスチャ情報が表情認知に与える影響 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 信学技報 (電子情報通信学会技術研究報告) | 6. 最初と最後の頁 13-18 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 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 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Yukiko Matsumoto, Satoshi Nishida, Ryusuke Hayashi, Shuraku Son, Akio Murakami, Naganobu Yoshikawa, Hiroyoshi Ito, Naoya Oishi, Naoki Masuda, Toshiya Murai, Karl Friston, Shinji Nishimoto, Hidehiko Takahashi | 4. 巻 49 |
| 2. 論文標題 Disorganization of semantic brain networks in schizophrenia revealed by fMRI | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Schizophrenia Bulletin | 6. 最初と最後の頁 498-506 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/schbul/sbac157 | 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 - |

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件）

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 中村大樹, 林 隆介 |
| 2. 発表標題 特徴量表現の対照学習に基づく表現類似性分析の検討 |
| 3. 学会等名 日本視覚学会2022年冬季大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 林隆介, 山下宙人, 山田亨, 川口拓之, 肥後範行 |
| 2. 発表標題 拡散光トモグラフィを用いたサル運動関連脳活動の三次元画像再構成 |
| 3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hirokatsu Kataoka, Eisuke Yamagata, Kensho Hara, Ryusuke Hayashi, Nakamasa Inoue |
| 2. 発表標題 Spatiotemporal Initialization for 3D CNNs with Generated Motion Patterns |
| 3. 学会等名 the 2022 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年～2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 林 隆介 |
| 2. 発表標題 脳型AI研究とBrain-Computer Interface応用に向けた展望 |
| 3. 学会等名 第24回AIチップ設計拠点フォーラム（招待講演） |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1．発表者名 林 隆介 |
| 2．発表標題 脳型AI研究とマルチオミックス的データ解析に向けた展望 |
| 3．学会等名 第40回日本基礎心理学会（招待講演） |
| 4．発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1．発表者名 林 隆介 |
| 2．発表標題 カテゴリーカルな視覚性概念形成メカニズムの理解にむけて：計算論ならびに神経科学的アプローチ |
| 3．学会等名 知覚と行動モデリング分科会（招待講演） |
| 4．発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1．発表者名 R. Hayashi, O. Yamashita, T. Yamada, H. Kawaguchi, N. Higo |
| 2．発表標題 3D reconstruction of hemodynamic responses using fNIRS signals measured on the surface of macaque monkeys' skull |
| 3．学会等名 FENS 2020（国際学会） |
| 4．発表年 2020年 |

| |
|--------------------------------|
| 1．発表者名 河原 美彩子, 林 隆介, 田中 章浩 |
| 2．発表標題 顔のテクスチャ情報が表情認知に与える影響 |
| 3．学会等名 ヒューマン情報処理研究会 |
| 4．発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1．発表者名 林 隆介 |
| 2．発表標題 視覚野の計算モデル：教師なし学習手法による視覚情報の表現分離 |
| 3．学会等名 日本視覚学会2021年冬季大会（招待講演） |
| 4．発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1．発表者名 R. Hayashi |
| 2．発表標題 Neural ensemble representation of view orientation in monkey inferior temporal cortex: A comparison between face and object processing |
| 3．学会等名 APCV2019（国際学会） |
| 4．発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1．発表者名 Satoshi Nishida, Yukiko Matsumoto, Naganobu Yoshikawa, Shuraku Son, Akio Murakami, Ryusuke Hayashi, Hidehiko Takahashi, Shinji Nishimoto |
| 2．発表標題 Schizophrenia reduces intra- and inter-individual variability of semantic representations in the brain |
| 3．学会等名 OHBM2019（国際学会） |
| 4．発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|--|
| 産業技術総合研究所 人間情報インタラクション研究部門 ニューロリハビリテーション研究グループ https://unit.aist.go.jp/hiiri/nrehrg/index.html 産業技術総合研究所 人間情報インタラクション研究部門 ニューロリハビリテーション研究グループ https://unit.aist.go.jp/hiiri/nrrg/research/index.html |
|--|

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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|