

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K13083

研究課題名（和文）多次元神経イメージング技術による視覚・聴覚障害者の神経可塑性研究

研究課題名（英文）Research on neuroplasticity in the visually and hearing impaired using multidimensional neuroimaging technology

研究代表者

中井 智也（Nakai, Tomoya）

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：60781250

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題を通して、計4本の査読付き学術論文を出版することに成功した。中でも2018年に出版したNeuroReportの論文では、多次元神経イメージングの一環として磁気共鳴スペクトロスコピー法を導入し、左右聴覚野における脳の可塑的变化を報告した。また、2020年に出版したCortex誌の論文では、非右利き者に対して当初予定していた言語、計算、ワーキングメモリ課題を実施し、言語と計算課題における脳の左右側性化パターンが相関することを示したことで、それらに共通する神経メカニズムを明らかにした。これらの成果により、多次元神経イメージング技術を利用した脳機能解析の有効性を確認することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、従来広く用いられてきた、脳血流変化を測定する機能的MRIに加え、神経伝達物質を測定する磁気共鳴スペクトロスコピーを取り入れることにより、様々な被験者の個人差を異なる角度から検証することができるようになった。このような多次元神経イメージング技術は、今後神経科学分野におけるさらなる応用研究に貢献するとともに、社会の多様性の基盤である個人差を生み出すメカニズムを、脳のレベルから解明することにつながることを期待される。

研究成果の概要（英文）：Through this research project, we have successfully published a total of four peer-reviewed scientific papers. Among them, the article published in NeuroReport in 2018 introduced MR spectroscopy as part of multidimensional neuroimaging technology and reported plastic brain changes in the bilateral auditory cortex. In the article published in Cortex in 2020, we performed the originally planned language, arithmetic, and working memory tasks on non-right-handed subjects, and showed that the left-right lateralization patterns of the brain in the language and arithmetic tasks were correlated, thereby clarifying the neural mechanisms common to them. These results confirmed the effectiveness of brain function analysis using multidimensional neuroimaging .

研究分野：認知神経科学

キーワード：言語 計算 MRI ワーキングメモリ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

行動や環境の変化等によって神経系が機能的・構造的に変化する性質を神経可塑性と呼ぶ。神経可塑性は様々な経験を持つ人々の個人差を生み出す要因であり、また脳損傷の患者のリハビリテーションにおいて、神経可塑性による脳機能回復は極めて重要な要素である。特に言語や計算などの高次認知機能に関して、視聴覚障害者では低次感覚野に活動が見られることが知られており、それら感覚野が神経可塑性の結果として連合野に近い機能を持つようになってきている可能性を示唆する。このような可能性を検討するためには、健常者においてこれまで連合野の活動が観察されてきた言語、計算、ワーキングメモリ等の様々な高次認知機能の関連性を明らかにする必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究計画は、機能的磁気共鳴画像法(fMRI)や、磁気共鳴スペクトロスコピー (MRS) などの多次元神経イメージングデータを用いることにより、数学、言語、ワーキングメモリに関わる神経基盤と、その可塑的变化のメカニズムを研究することを目的とするものであった。

### 3. 研究の方法

(1)当初の計画に対し、研究代表者の所属する組織が国立障害者リハビリテーションセンター研究所から情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センターに変更になったため、健常群を対象として多次元神経イメージングデータを利用した解析を実施することを通して脳神経の可塑的变化を調査することとした。多次元神経イメージングデータの一环として、非侵襲的に脳神経伝達物質濃度を測定する MRS の一種である、MEGA-PRESS を導入した。23 名の被験者に対し、両半球上側頭回における GABA+/Cr 濃度比を測定し、被験者の聴覚能力の個人差との関連を調べた。

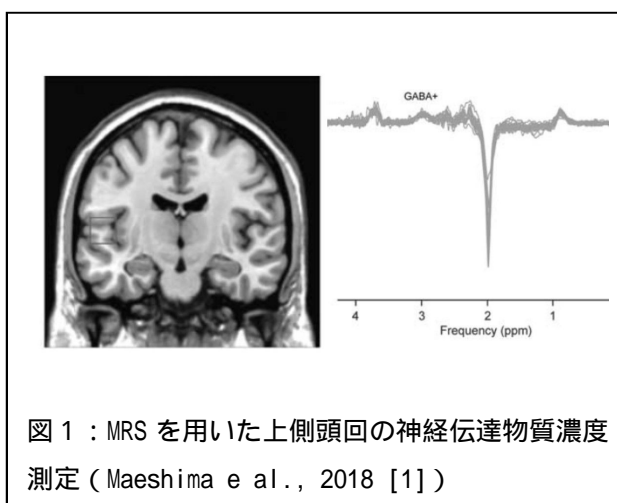


図 1 : MRS を用いた上側頭回の神経伝達物質濃度測定 (Maeshima e al., 2018 [1])

(2) 研究代表者は言語と計算能力の脳神経基盤における関連を明らかにするために、クロスドメインプライミングという新たな実験デザインを導入した。20 名の被験者に対し言語と計算課題を連続して解かせ、その際の脳活動を fMRI で測定した。言語と計算課題のペアは構造的に類似したペアと非類似ペアを用意し、言語と計算の構造的相互作用を調べた。

(3)当初予定していた言語・計算・ワーキングメモリ課題を、30 名の健常非右利き被験者を対象として実施し、被験者間の脳活動個人差を調査することとした。言語・計算・ワーキングメモリ課題実施中の脳活動を fMRI で測定した。

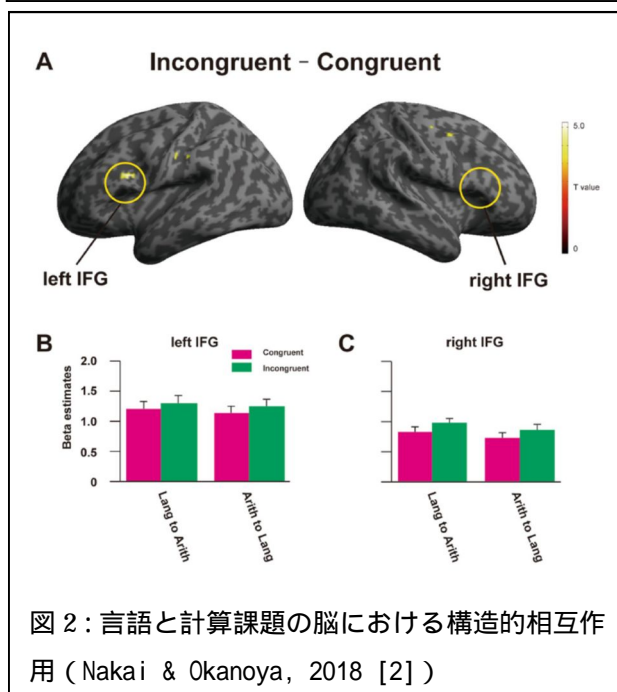


図 2 : 言語と計算課題の脳における構造的相互作用 (Nakai & Okanoya, 2018 [2])

(4) 研究代表者は脳情報通信融合研究センターに配属後に、先端的な脳神経データ解析技術として、機械学習技術を脳神経データと組み合わせる研究に取り組み始めた。研究代表者は数学、言語、ワーキングメモリを含む 100 種類以上の認知課題を用意し、6 名の被験者を対象として 3 日間にわたる fMRI 計測を実施した。得られた脳神経データを定量的に説明する符号化・復号化モデルを構築した。

### 4. 研究成果

(1) MRS を利用して絶対音感保有者における聴覚野の可塑的变化を測定した。その結果、被験者の両半球上側頭回において、GABA+/Cr 濃度比と絶対音感能力が有意な負の相関を示すことが明らかになった (図 1)。この結果は、MRS が特殊な音楽能力を持つ

被験者の脳神経の可塑的变化を調べるために有効であることを示唆するものである。本研究成  
果は、2018 年に *NeuroReport* 誌に掲載された (Maeshima, Hosoda, Okanoya, & Nakai,  
*NeuroReport* 2018[1])。

(2)構造の類似ペアと非類似ペア呈示時の脳活動を比較することにより、言語と計算課題の有意  
な構造的相互作用効果を両半球下前頭回において見出した (図 2)。この結果は、言語と計算が  
部分的に同じ脳神経基盤に基づくことを示唆するものである。本研究成は 2018 年に  
*Scientific Reports* 誌に掲載された (Nakai & Okanoya, *Scientific Reports* 2018 [2])。

(3)被験者全体を通して、言語・計算  
課題に共通して両半球の下前頭回の  
活動がみられた。さらに被験者の脳活  
動パターンの個人差を調べてみたこ  
ろ、言語課題において左半球が有意  
に活動していた被験者は計算課題で  
も左半球に活動がみられ、反対に言語  
課題で右半球に活動がみられた被験  
者は計算課題でも右半球に活動がみ  
られる傾向があった(図 3)。被験者の  
脳活動の側性化指標 (Laterality  
Index) を計算したところ、左下前頭  
回周辺脳領域において言語課題と計  
算課題の側性化指標が有意に相関し  
ていた。この結果は、言語と計算が共  
通の神経基盤を有するという研究代  
表者の先行研究 (Nakai &  
Okanoya, *Scientific Reports* 2018  
[2]) と整合的な結果である。本研究  
成は 2020 年に *Cortex* 誌に掲載さ  
れた (Nakai & Okanoya, *Cortex* 2020  
[3])。

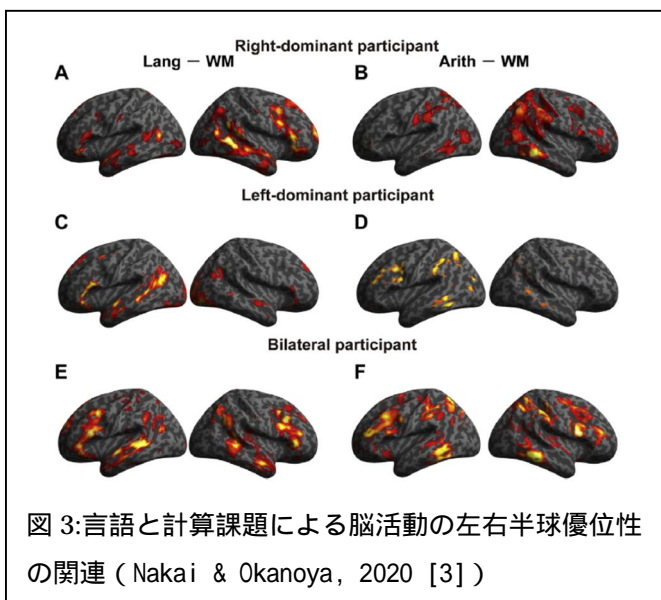


図 3:言語と計算課題による脳活動の左右半球優位性  
の関連 (Nakai & Okanoya, 2020 [3])

(4)課題実行中の脳活動を符号化モデル  
を用いて解析することにより、ヒト  
脳における高次認知機能の詳細な情  
報表現を明らかにした。また復号化モ  
デルを利用することにより、90%以上  
の精度で脳活動から参加者が実施し  
ている課題をデコーディングすること  
に成功した (図 4)。この結果は、  
先端的な機械学習技術が脳神経デー  
タの解析に有効であることを示して  
いる。本研究成は 2020 年に *Nature  
Communications* 誌に掲載された  
(Nakai & Nishimoto, *Nature  
Communications* [4])。

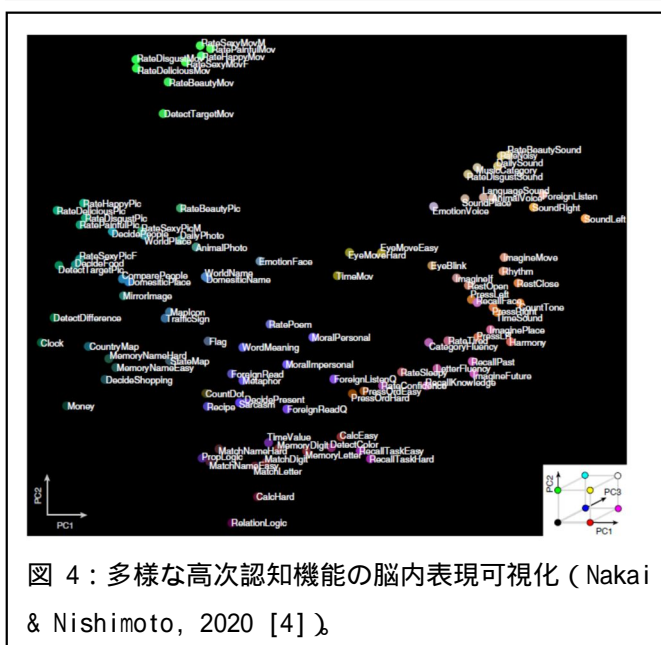


図 4 : 多様な高次認知機能の脳内表現可視化 (Nakai  
& Nishimoto, 2020 [4])

#### 引用文献

- [1] [Tomoya Nakai](#), Kazuo Okanoya. Cortical collateralization induced by language and arithmetic in non-right-handers. *Cortex*, Vol. 124, pp. 154-160, March 2020.
- [2] [Tomoya Nakai](#), Kazuo Okanoya. Neural Evidence of Cross-domain Structural Interaction between Language and Arithmetic. *Scientific Reports*, Vol. 8, No. 1, 12873, August 2018.
- [3] Hiroaki Maeshima, Chihiro Hosoda, Kazuo Okanoya, [Tomoya Nakai](#). Reduced -aminobutyric acid in the superior temporal gyrus is associated with absolute pitch. *NeuroReport*, Vol. 29, No. 17, pp. 1487-1491, December 2018.
- [4] [Tomoya Nakai](#), Shinji Nishimoto. Quantitative models reveal the organization of diverse cognitive functions in the brain. *Nature Communications*, vol. 11, no. 1142, March 2020.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4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 2件）

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Tomoya Nakai, Shinji Nishimoto   | 4. 巻<br>11              |
| 2. 論文標題<br>Quantitative models reveal the organization of diverse cognitive functions in the brain               | 5. 発行年<br>2020年         |
| 3. 雑誌名<br>Nature Communications  | 6. 最初と最後の頁<br>1142      |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s41467-020-14913-w   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |
| 1. 著者名<br>Tomoya Nakai, Kazuo Okanoya  | 4. 巻<br>124             |
| 2. 論文標題<br>Cortical collateralization induced by language and arithmetic in non-right-handers                    | 5. 発行年<br>2020年         |
| 3. 雑誌名<br>Cortex   | 6. 最初と最後の頁<br>154-160   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.cortex.2019.11.009   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |
| 1. 著者名<br>Tomoya Nakai, Kazuo Okanoya  | 4. 巻<br>8               |
| 2. 論文標題<br>Neural Evidence of Cross-domain Structural Interaction between Language and Arithmetic.               | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>Scientific reports   | 6. 最初と最後の頁<br>12873     |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s41598-018-31279-8   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |
| 1. 著者名<br>Hiroaki Maeshima, Chihiro Hosoda, Kazuo Okanoya, Tomoya Nakai  | 4. 巻<br>29              |
| 2. 論文標題<br>Reduced $\gamma$ -aminobutyric acid in the superior temporal gyrus is associated with absolute pitch. | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>NeuroReport  | 6. 最初と最後の頁<br>1487-1491 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1097/WNR.0000000000001137   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Tomoya Nakai, Hiroto Q. Yamaguchi, Shinji Nishimoto   |
| 2. 発表標題<br>Quantitative models reveal the cortical representation of linguistic information modulated by selective attention |
| 3. 学会等名<br>The 20th Winter Workshop on the Mechanism of Brain and Mind   |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Hiroto Q. Yamaguchi, Tomoya Nakai, Shinji Nishimoto  |
| 2. 発表標題<br>Similarity of cortical semantic representations during language production and comprehension |
| 3. 学会等名<br>11th Annual Meeting of the Society for the Neurobiology of Language                          |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Hiroto Q. Yamaguchi, Satoshi Nishida, Tomoya Nakai, Shinji Nishimoto                         |
| 2. 発表標題<br>Functional subdivisions around FEF revealed by multi-modal modeling of movie-evoked activity |
| 3. 学会等名<br>25th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping                              |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|                            |
|----------------------------|
| 1. 発表者名<br>中井智也            |
| 2. 発表標題<br>高次脳機能のデコーディング   |
| 3. 学会等名<br>第3回CiNet脳情報研究WS |
| 4. 発表年<br>2019年            |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Tomoya Nakai, Shinji Nishimoto   |
| 2. 発表標題<br>Cognitive map of over 100 naturalistic tasks identified in the human brain |
| 3. 学会等名<br>The 41st Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society (国際学会)           |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Tomoya Nakai, Shinji Nishimoto  |
| 2. 発表標題<br>Data-driven mapping of over 100 naturalistic tasks in the human brain |
| 3. 学会等名<br>Society for Neuroscience (国際学会)                                       |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Tomoya Nakai and Kazuo Okanoya   |
| 2. 発表標題<br>Cross-domain Structural Interaction between Language and Arithmetic in the Left Inferior Frontal Gyrus |
| 3. 学会等名<br>The 40th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society (国際学会)                                       |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>中井智也, 岡ノ谷一夫                       |
| 2. 発表標題<br>言語・計算課題を用いた非右利き者における脳活動側性化パターンの検討 |
| 3. 学会等名<br>第一回ヒト脳イメージング研究会                   |
| 4. 発表年<br>2017年                              |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

ヒトの多様な認知機能を司る脳内情報表現の可視化と解読に成功  
<https://www.nict.go.jp/press/2020/03/10-1.html>

6. 研究組織

|  | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(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 |
|---------|---------|
|---------|---------|