

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K07264

研究課題名（和文）ヒトにおける知識の再編成の神経メカニズムの解明

研究課題名（英文）Neural mechanisms of a knowledge reorganization in the human brain

研究代表者

倉重 宏樹（Kurashige, Hiroki）

東海大学・情報通信学部・講師

研究者番号：80513689

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）：人が新たな情報を学ぶとき、多くの場合には自分がすでに持っているスキーマと呼ばれる知識の枠組みに相対化したかたちで行う。既存のスキーマに不整合であるがゆえに、そのままでは受け入れられない情報を、スキーマ自体を再編成して獲得する現象をスキーマ調節と言う。本研究ではこのスキーマ調節の神経メカニズムを、著者らが開発した逆転論述課題という実験パラダイムを用いて調べた。その結果、スキーマ調節には実行ネットワークと呼ばれる脳部位が役割を果たしていることが示された。この部位は特に熟慮的な過程に関わると考えられている。したがってスキーマ調節には熟慮が重要な役割を果たしていることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スキーマ依存の知識獲得には、上述のスキーマ調節に加え、スキーマに整合な情報をスキーマ自体には大きな変更を起こさずに獲得するスキーマ同化がある。スキーマ同化は起こりやすい現象であるがゆえに実験もしやすく、関与する脳部位は相当に確立されている。一方のスキーマ調節は、重要であるが頻繁に起こる現象ではないため、実験が難しく、その神経メカニズムはほとんど未解明だった。本研究の成果は、そのスキーマ調節の神経メカニズムの一端を初めて明らかにしたものであり、記憶・学習の神経科学において大きな意味を持つ。加えて、本研究が明らかにしたものは人の柔軟な知の基盤であり、それを促進する技術の開発にもつながりうる。

研究成果の概要（英文）：When people acquire new information, they usually do so relative to the preexisting framework of knowledge, called a schema. Schema accommodation is a phenomenon in which people acquire information that they cannot accept as it is because it is incongruent with their existing schema, by reorganizing the schema itself. In this study, we investigated the neural mechanism of schema accommodation using an experimental paradigm called the reversal description task, which was developed by the authors. The results showed that a brain region called the executive network plays a role in schema accommodation. This region is thought to be particularly involved in deliberative processes. Therefore, it is suggested that deliberation plays an important role in schema accommodation.

研究分野：神経科学

キーワード：脳 fMRI 記憶 学習 知識獲得 スキーマ ヒト

### 1. 研究開始当初の背景

人の知識の本質はその適応性にある。これにより、知識は外界との相互作用や内的思考を通じて成長し得る。本研究はこの知識の適応原理を探ることを目的とする。心理学では、特定内容についての組織化・システム化された知識の枠組みをスキーマと呼ぶ (Ghosh & Gilboa, 2014; Gilboa & Marlatt, 2017)。スキーマの顕著な特質は、上述の通り、それが (学習・思考を通じ) 適応的に変化することである。スキーマの適応は大きく2つに分けられる。一つはスキーマ同化 (schema assimilation) で、これは既存スキーマを大きく変えることなく新しい情報を受け容れる適応をいう (図1左)。もう一つはスキーマ調節 (schema accommodation) で、これは既存スキーマの構造それ自体を修正して行う適応である (図1右)。既存知識の構造変更という点で両者の区別は程度問題だが、スキーマ調節はスキーマの構造が特に大きく再編成される適応だと言えよう。

これまでのスキーマ適応の神経科学研究はほぼスキーマ同化に関するものだった (Ghosh & Gilboa, 2014)。新規知識の獲得は既存スキーマに依存し、特にスキーマに整合な知識ほどよく獲得されることが知られている。これは既存スキーマの構造を保って新たな知識を加えるものであり、スキーマ同化の典型である。この効果は内側前頭前野の寄与で生じることがほぼ確立されている (van Kesteren et al., 2012 等)。

一方のスキーマ調節は、種々の心理学的研究からスキーマ同化に比べて起こり難い現象であることが示されている (Lord et al., 1979; Sunstein et al., 2017 等)。そしてこのスキーマ調節の起こり難さが、その性質、特に神経機構の同定を困難にしている。上述の通り、スキーマに整合な知識獲得はスキーマ同化を導く。その対比でスキーマに不整合な知識獲得の神経機構の検討は行われている (Brod et al., 2015 等)。しかしそこで「スキーマの再編成」が生じている保証はない。結局、スキーマ調節の神経機構はほぼ分かっていない。その意味で我々の知識観は片落ちであった。

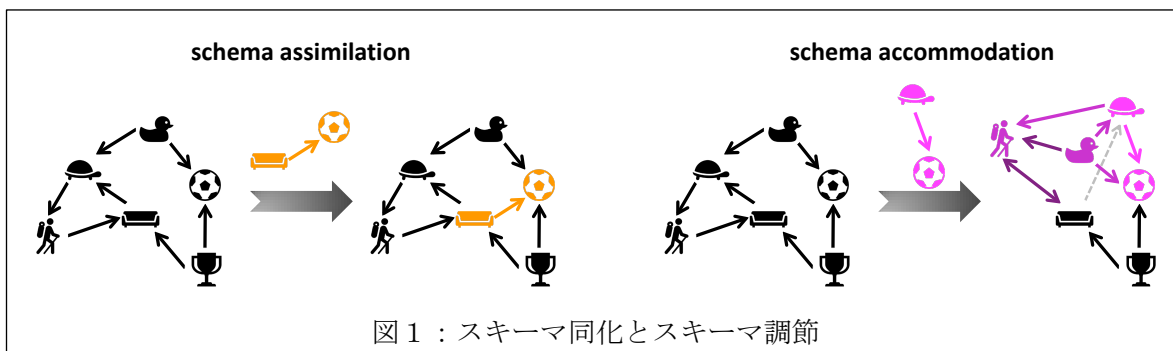


図1：スキーマ同化とスキーマ調節

### 2. 研究の目的

上述の通り、スキーマ調節は我々の適応的で創造的な知にとって欠くべからざる現象である。しかしながら、その神経メカニズムはほとんどわかっていない。そこで本研究では、「神経機構の検討に十分な確度・規模でスキーマ調節を起こす課題」を設計し、これを用いてスキーマ調節を担う神経機構を明らかにすることを目指した。

### 3. 研究の方法

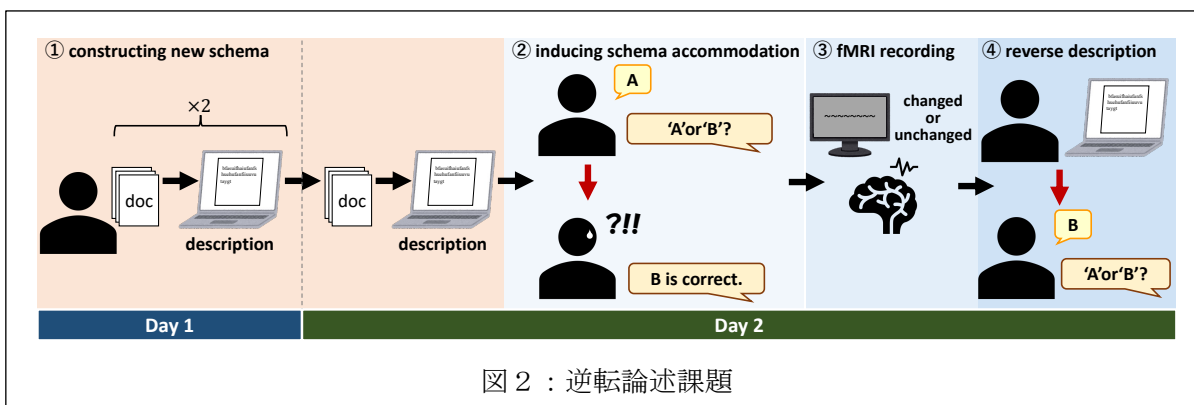


図2：逆転論述課題

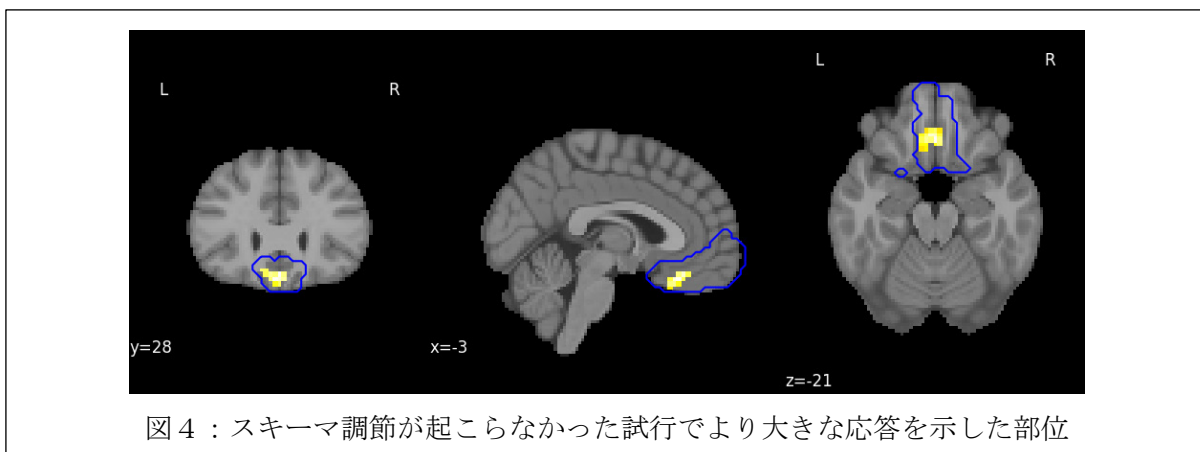
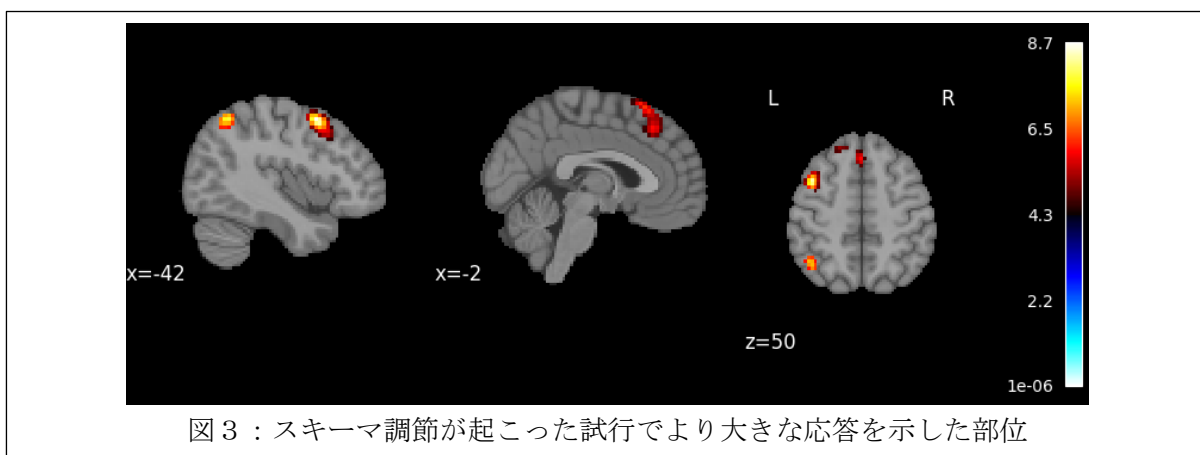
スキーマ調節の神経メカニズムを特定するためには、既存のスキーマの再編成が十分な確度で起こる必要がある。この目的のために、我々は逆転論述課題と名付けたパラダイムを用いて fMRI 実験を行った (図2)。初日、参加者はある文書を与えられ、それを注意深く読み、理解したことを要約した文章を書くよう求められた。この文書は難解で、理解を作るには能動的な解釈

を必要とした。これによって被験者は強固で複雑性のある新規スキーマを作る。翌日、参加者は再度文書の読解と理解内容の要約の記述を行なった。その後、参加者は文書の解釈によって答えが分かれる二択の質問に答えるよう求められた。そして、自分が選んだ選択肢の反対が「正解」とであると告げられた。参加者は、伝えられた「正解」が自身の回答になるように fMRI スキャン中に文書の理解を変えることが指示され、スキャン後にその改めた理解を再度文章に書いてもらうことを告げられた。fMRI スキャン中、参加者は文書内に出てきた文が再提示され、その文の解釈が変わったかどうかを、ボタンを押して答えるよう求められた。「変わった試行」と「変わらなかった試行」が、スキーマに調節が起こった試行と起こらなかった試行として分類された。スキャン後、参加者は再度現時点での理解を文章に要約し、その後、実際に指示された通りに理解が変わったかを調べるために、先ほどのものと同じ二択質問に答えた。

#### 4. 研究成果

二択質問への回答の変化によって、十分にスキーマに再編成が起こった参加者と起こらなかった参加者を区分けた。以降、とくに前者の被験者群のデータ解析結果を報告する。

前述の基準により、スキーマに調節が起こった試行と起こっていない試行を分け、その際の fMRI 応答を比較した。全脳レベルの解析の結果、スキーマ調節が起こった試行において、左中前頭回と左下頭頂小葉からなる前頭頭頂ネットワークと、cingulo-opercular ネットワークの一部が重なる左上前頭回（とくに内側部）に、より大きな応答が見られた（図3）。一方、スキーマ同化に関与が深いとされる内側前頭前野に関心領域を置いた解析により、とくにその腹側領域において、スキーマ調節が起こらなかった試行でより大きな応答が観察された（図4）。



前者の部位は総じて実行ネットワークと呼ばれ、抑制制御などのいわゆる「理性的」という機能に関与していることが示唆されている。一方で、後者の部位は社会情動的機能に関与が深いと考えられている。以上の結果は、熟慮的なスキーマ調節 vs 自動的なスキーマ同化という機能的な対比関係を示唆する。スキーマ依存の知識獲得においてこれらが双方向的な役割を担うことによって、人の高度な知の基盤が作られているのかもしれない。

## 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 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hiroki Kurashige, Jun Kaneko	4. 巻 2022
2. 論文標題 Correspondence between the Video-Learning Deep Neural Networks and EEG Brain Activity during Naturalistic Video Viewing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Science	6. 最初と最後の頁 200-207
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/iciibms55689.2022.9971704	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 Toshiki Kusano, Hiroki Kurashige, Isao Nambu, Yoshiya Moriguchi, Takashi Hanakawa, Yasuhiro Wada, Rieko Osu	4. 巻 226
2. 論文標題 Wrist and finger motor representations embedded in the cerebral and cerebellar resting-state activation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Brain Structure and Function	6. 最初と最後の頁 2307 ~ 2319
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00429-021-02330-8	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 Hiroki Kurashige, Hiroyuki Hoshino, Takashi Owaki, Kenichi Ueno, Topi Tanskanen, Kang Cheng, Hideyuki Cateau	4. 巻 13110
2. 論文標題 Brain-mimetic Kernel: A Kernel Constructed from Human fMRI Signals Enabling a Brain-mimetic Visual Recognition Algorithm	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc ICONIP, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 271 ~ 283
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-92238-2_23	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

1. 著者名 倉重 宏樹, 山田 遼介	4. 巻 8
2. 論文標題 脳波計測を用いた長期・短期的内発的報酬つき強化学習の脳基盤の検討	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 先進生命科学研究所紀要	6. 最初と最後の頁 73 ~ 80
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 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 田井文也, 倉重宏樹
2. 発表標題 自己調整性を補償する問題推薦型知的学習支援システムの開発に向けた検討
3. 学会等名 電子情報通信学会NC研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杉山大知, 倉重宏樹
2. 発表標題 逐次および同時マルチタスク学習のグラフ縮約による解析
3. 学会等名 電子情報通信学会NC研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroki Kurashige, Jun Kaneko
2. 発表標題 Correspondence between the Video-Learning Deep Neural Networks and EEG Brain Activity during Naturalistic Video Viewing
3. 学会等名 7th International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 倉重 宏樹, 金子 順
2. 発表標題 自然動画提示に対する誘発脳波活動と深層ニューラルネットワーク応答の対応付け
3. 学会等名 NEURO2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 倉重 宏樹, 金子 順
2. 発表標題 逆転論述課題を用いたスキーマ調節における知識の再編成メカニズムの検討
3. 学会等名 第44回日本神経科学大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子 順, 倉重 宏樹
2. 発表標題 論文データベースをもとにした、生物医学的Entityの関係性に対して自然言語処理によるアプローチによる解析
3. 学会等名 第44回日本神経科学大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Kurashige
2. 発表標題 Fluctuating dynamics in the resting brain
3. 学会等名 The 13th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Kurashige, Hiroyuki Hoshino, Takashi Owaki, Kenichi Ueno, Topi Tanskanen, Kang Cheng, Hideyuki Cateau
2. 発表標題 Brain-mimetic Kernel: A Kernel Constructed from Human fMRI Signals Enabling a Brain-mimetic Visual Recognition Algorithm
3. 学会等名 The 28th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂口翔太郎, 撫中達司, 倉重宏樹
2. 発表標題 DALLEアーキテクチャに基づくマルチモーダル教示に対する汎用応答システムの開発
3. 学会等名 電子情報通信学会NC研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山崎百華, 倉重宏樹
2. 発表標題 質的データ分析を用いた対象に対する好奇心の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会NC研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroki Kurashige, Jun Kaneko
2. 発表標題 Toward a deep neural network simulator of brain activity on fast time scales: Correspondence between EEG and Transformer-based model responses to naturalistic audio stimuli
3. 学会等名 Neuroscience 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 倉重 宏樹, 永田 栄一郎
2. 発表標題 深層AI生成動画刺激を用いた脳活動への非侵襲介入法の検討
3. 学会等名 第10回日本BMI研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 倉重 宏樹, 山田 遼介
2. 発表標題 短期・長期的内発的報酬に関わる強化学習パラメータの行動データからの推定法
3. 学会等名 第46回日本神経科学大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 倉重 宏樹
2. 発表標題 記憶の自己構築性から脳と社会とAIの「知」を考える
3. 学会等名 第39回全脳アーキテクチャ勉強会（招待講演）
4. 発表年 2023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
研究協力者	松元 健二  (Matsumoto Kenji)  (50300900)	玉川大学・脳科学研究所・教授    (32639)	

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
---------	---------