

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K12017

研究課題名(和文)最適化原理を超えて：モダリティ間学習の多様性とその学習原理を探る

研究課題名(英文) Beyond the principle of optimization: diversity of cross-modality mapping

研究代表者

牧岡 省吾 (Makioka, Shogo)

大阪公立大学・大学院現代システム科学研究科 ・教授

研究者番号：60264785

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：数字と色，数字と性格印象，数字と空間配置の対応関係およびその経時的変化について心理実験を行うことで，モダリティ間マッピングの特性とその学習原理について検討した．数字と色，数字と性格印象については，対応関係に個人差がみられ，自己組織化学習に基づく説明と適合するものの，有意差が得られた組み合わせが少なく，かつ経時的な変動が大きかったことから，明確な結論が得られなかった．数字と空間配置については，自己組織化学習モデルを支持する結果が得られた．加えて，大脳皮質のトポロジカルマップと共感覚における励起感覚の形状の関係について，脳内の座標系に関する知見を基に理論的な検討を行った．

研究成果の学術的意義や社会的意義

非共感覚者を対象とした本研究において，数字と空間配置のマッピングについて，1)個人間の多様性，2)個人内の一貫性，3)規則性と不規則性の混在という自己組織化学習の特性が確認できたことから，モダリティ間マッピングにおいて自己組織化学習が働いている場合があることが分かった．これは，モダリティ間の情報を結びつけることで生成される意味の獲得原理を明らかにする上で重要な知見であると言える．加えて，共感覚の生成過程を検討することにより，知覚的意識が生成される過程についても理論的な示唆を得ることができた．

研究成果の概要(英文)：By conducting psychological experiments on the correspondence between numbers and colors, numbers and personality, and numbers and spatial arrangement, and their changes over time, we investigated the characteristics of cross-modality mappings and their learning principles. Although there were individual differences in the correspondence between numbers and colors, and numbers and personality, which were compatible with explanations based on self-organized learning, there were few combinations with significant differences, and the temporal variation was large, so no clear conclusions could be drawn. The results for numbers and spatial configurations supported the self-organizing learning model. Furthermore, the relationship between the topological map of the cortex and the shape of synaesthesia was theoretically investigated based on the findings on the coordinate system in the brain.

研究分野：認知心理学

キーワード：共感覚 自己組織化学習 ニューラルネットワーク

1. 研究開始当初の背景

深層学習の成功はニューラルネットワークの有用性を社会に印象づけた。代表例である **deep convolutional network** は自然画像と言語ラベルとのマッピングを教師あり学習することによってヒトに近い般化能力を示す。この成果は1980年代の一連の研究が基礎となっており、出力層における誤差最小化という最適化原理が学習を駆動する。一方、複数のモダリティを統合する高次認知過程の学習原理は未だ明らかではなく、基本的な原理の解明が待たれている。

モダリティ間マッピングについては、最適化原理に従わない心理現象が多数報告されている。数や曜日などに関する思考が空間的配置を喚起する **SSS(spatial sequence synesthesia)** という共感覚においては、数字が不規則に並んだ配置が喚起される場合があることが知られている。配置は個人ごとに多様であるが、個人内では時間を置いても同一の配置が保たれる。また数字や文字から色が喚起される色字共感覚、数字や文字から性格印象が喚起される **OLP(ordinal linguistic personification)** という共感覚でも、モダリティ間の対応は個人間でバラバラであり、最適性という観点から説明することはできない。そもそも共感覚は実在しない感覚が喚起される現象であり、そのこと自体が最適化原理による説明を拒んでいる。本研究の核心をなす問いは、外界と整合しない共感覚現象が保持される理由は何か、共感覚現象は非共感覚者のモダリティ間統合や意味の獲得と何らかの関係を持つのか、というものである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、非共感覚者における数字と色、数字と性格印象の対応関係およびその経時的変化について心理実験を行うことで、モダリティ間マッピングの特性とその学習原理を明らかにすることである。ヒトは色に対して各種の印象を抱くが(e.g. 「黄色い声」)、その印象は必ずしも個人間で一致せず、またそのような差異の原因は解明されていない。本研究では、自己組織化学習という枠組みによって、色に対する印象の由来とその個人差を説明可能かどうかについても検討した。

3. 研究の方法

本研究では主として心理実験による検討を行った。具体的には、数字と空間的配置、数字と色、性格特性と色、数字と性別のような異なるモダリティを組み合わせさせた刺激に対する反応時間を分析することによって、モダリティ間の相互作用について検討した。個々の実験の方法については成果と併せて説明する。

4. 研究成果

(1)数字と空間配置の関係

非共感覚者を対象として、数字と空間的配置の個人差に関する心理実験を実施した。8方向に配置した2つの数字の大小を判断してもらったところ、反応時間分布から推測される数の空間配置は参加者ごとに異なっており、かつ不規則であった。これは数字と空間に関する自己組織化学習が非共感覚者において生じていることを示唆する。分析の結果、研究代表者が過去に行った曜日と空間的配置の個人差に関する実験と同様、自己組織化学習モデルを支持する結果が得られた。しかしより信頼性の高い分析を行うために、追加の実験を実施する必要がある。

(2)数字と色の関係

共感覚を持たない人を対象に、数字と色、性格特性と色のマッピングに関する心理実験を行った。色については、数字の大小判断を **Simon task** を用いて行うことで、数字と色の対応関係について、共感覚者にみられるのと同様な個人間での多様性がみられるかどうかを検討した。参加者は呈示された数字が5より大きいかどうかを、数字の左右に呈示される長方形の色に基づいて反応することを求められた(例:5より大きければ赤のある側の **shift** キーを押す)。予備実験の結果、反応時間の分散が大きく個人内での分析に適さないことが判明したため、課題を2つの数字の大小判断課題に変更した。参加者は、左右に並んで呈示される2つの数字のうち、大きい方の数字のある側の **shift** キーを押すことを求められた。このとき、2つの数字のいずれかが赤、オレンジ、黄色、緑、水色、青、紫のいずれかの色で呈示され、数字によって反応の速い色が異なるかどうかを検証した。実験の結果、数字によって反応の速い色が異なり、かつその組み合わせが個人間で異なるという結果が得られた。しかし、有意差がみられた組み合わせは少なかった。

さらに、ストループ課題を用いて色と数字の対応関係とその経時的変化について検討した。具体的には、数字を赤、オレンジ、黄色、緑、水色、青、紫のいずれかの色で提示し、その文字色を答える際の音読潜時を計測することにより、数字と色の対応関係について検討した。その結果、特定の数字で特定の色の反応潜時が有意に短く/長くなるという対応関係がみられた場合があったが、有意差がみられた場合は少なかった。また、その1ヶ月程度の時間を置いて同じ実験を繰り返した際の対応関係は、個人内でも変化していた。

以上より、数字と色の関係については、その個人差については自己組織化学習に基づく説明

と適合するものの、有意差が得られた組み合わせが少なく、かつ経時的な変動が大きかったことから、明確な結論が得られなかった。

(3)性格特性と色の関係

非共感覚者を対象に、性格特性と色の関係性について検討した。Big Five 性格特性に関する判断を色つきの反応キューによって行う Simon task を用い、キューの色によって反応潜時に変化が見られるかどうかを検討した。その結果、特定の性格特性と色の組み合わせで反応潜時が有意に短く/長くなるという対応関係がみられ場合があったが、有意差がみられた場合は少なかった。また、個人内の経時的変化がみられた。性格特性と色の関係についても、その個人差については自己組織化学習に基づく説明と適合するものの、有意差が得られた組み合わせが少なく、かつ経時的な変動が大きかったことから、明確な結論が得られなかった。

(4)数字と性別の関係

非共感覚者を対象に、数字と性別・性格特性の関係について検討した。OLP(Ordinal-linguistic personification)と呼ばれる共感覚では、0 から 9 の各数字から、特定の性別や性格特性が自動的に喚起される。数字の大小判断/偶奇判断を性別や性格を表すキューを用いて行う Simon task を用い、性別あるいは性格によって反応潜時に変化が見られるかどうかを検討した。その結果、特定の組み合わせで反応潜時が有意に長く/短くなる傾向がみられたが、その組み合わせは性別のステレオタイプに対応するものであり、数字と性別の間で自己組織化学習が生じていると言う証拠は得られなかった。

(5)共感覚の誘発

非共感覚者に暗室で聴覚刺激を呈示することで色聴と類似の現象がみられたという Nair & Brang (2019)の実験の追試を行った。複数の異なる課題を用いて実験を行ったが、色聴と類似した現象の再現はできなかった。考えられる原因としては、実験手続きの不備、参加者の特性の違い、Nair & Brang (2019)の実験における何らかの固有の要因の存在が考えられるが、まだ特定には至っていない。

(6)共感覚と自己組織化学習に関する理論的考察

本課題における理論的な考察に基づき、日本認知科学学会誌「認知科学」特集「認知科学から見た深層学習の地平線」に展望論文「共感覚と自己組織化学習:共感覚はどのように生成されるのか、なぜ消えないのか」を投稿し、採択された。本論文では、大脳皮質のトポロジカルマップと共感覚における励起感覚の形状の関係について、脳内の座標系に関する様々な知見を基に検討した。さらに、研究代表者が提案した共感覚の自己組織化学習モデルと、Seth(2014)による予測処理理論に基づく共感覚現象の説明を比較しながら、共感覚の知覚的実在性の起源に関する考察を行った。さらに、Gershman (2019)敵対的学習推論に基づく知覚的実在性の説明、Cleeremans et al. (2020)による意識の自己組織化メタ表現説との関連についても論じた。

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 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 牧岡 省吾	4. 巻 29
2. 論文標題 共感覚と自己組織化学習:共感覚はどのように生成されるのか, なぜ消えないのか	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 認知科学	6. 最初と最後の頁 47-62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11225/cs.2021.059	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 Shogo Makioka	4. 巻 207
2. 論文標題 Idiosyncratic spatial representations of the days of the week in individuals without synesthesia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cognition	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cognition.2020.104500	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 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 于成, 牧岡省吾
2. 発表標題 非共感覚者における色と数字のマッピングの個人差とその経時的変化について
3. 学会等名 日本認知科学会第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牧岡省吾
2. 発表標題 非共感覚者における曜日の空間的配列
3. 学会等名 日本認知科学会第36回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Cheng Yu & Shogo Makioka
2. 発表標題 Idiosyncratic number-color correspondence in non-synesthetes: evidence from magnitude comparison task.
3. 学会等名 31st APS Annual Convention (国際学会)
4. 発表年 2019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

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