

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：24403  
研究種目：基盤研究(C)  
研究期間：2011～2014  
課題番号：23500333  
研究課題名(和文)自己組織化学習モデルに基づく共感覚現象の解明  
  
研究課題名(英文)Self-organizing learning model of synaesthesia  
  
研究代表者  
牧岡 省吾(Makioka, Shogo)  
  
大阪府立大学・人間社会学部・教授  
  
研究者番号：60264785  
  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：数と空間の共感覚である数字列形は、個人間での多様性、個人内での一貫性、規則性と不規則性の混交という3つの特性をもつ。研究代表者は、これらを自己組織学習の原理から説明する枠組みSOLAを提案した(Makioka, 2009)。

本研究では、数の大小判断に関する心理実験を用いて、数と空間の間の自己組織化学習が非共感覚者においても生じるという仮説を検討した。一連の実験により、数と空間の対応関係は個人間で多様であり、かつその対応関係には規則性と不規則性の混交が見られることが明らかになり、仮説が支持された。今後、SOLAが他のモダリティ間学習にも適用可能か検討する必要がある。

研究成果の概要(英文)：Some individuals automatically and involuntarily “see” mental images of numbers in spatial arrays when they think of numbers (number forms). Makioka (2009) proposed a theoretical framework called self-organizing learning account of number forms (SOLA), which argues that number forms are generated by self-organizing learning between numerical and spatial representation. This framework explains three features of number forms: (a) within-individual consistency, (b) between-individual variation, and (c) mixture of regularity and randomness.

This study aims to examine whether SOLA can explain the interaction between numerical and spatial representations in non-synaesthetes. Participants viewed pairs of numerals and reported vocally which numeral was larger. There were significant between-individual variation and irregularity in the spatial configurations induced from RT distribution. These results suggest that self-organizing learning occurs between numerical and spatial representation.

研究分野：認知心理学

キーワード：共感覚 ニューラルネットワーク 多感覚統合 SNARC効果

1. 研究開始当初の背景

数を用いた思考をするとき、数字が特定の配置で並ぶ心的イメージが強制的に喚起される人々がいる。この現象は Galton(1880)によって初めて報告され、その心理学的実在性(数の大小判断への影響など)は最近の研究によっても裏付けられている。この現象は数字列形(number forms)と呼ばれ、数と空間の間の共感覚であると考えられている。数の配置は人によって異なるが、個人の中では時間を置いても同一の配置が保たれる。このような個人間での多様性と個人内での一貫性は、数字や文字から色が喚起される色字共感覚など、他の共感覚現象においても共通してみられる。

数字列形の特徴の一つに規則性と不規則性の混交がある。数字の配列は不規則に折れ曲がっている場合もあるが、常に大きさの順に並んでおり、その意味では規則的である。研究代表者は、数字列形にみられる a) 個人間での多様性, b) 個人内での一貫性, c) 規則性と不規則性の混交の三つの特性を自己組織学習という観点から説明する枠組み SOLA (Self-Organizing Learning Account of number forms)を提案した(Makioka, 2009)。SOLA は、数の大きさの脳内表現と空間の脳内表現との間で生じる自己組織化学習が数字列形の形状を決めると仮定する。自己組織化学習の原理として Kohonen(1982)の自己組織化マップ(SOM)を用いたシミュレーションにより、a)~c)の属性が自然に導出された。自己組織化学習の結果形成されるマップは入力パターン同士の類似性を反映した規則性を持つが、完全に規則的にはならない(規則性と不規則性の混交)。また、マップの形状はネットワークの初期状態に依存して大きく変化する(個人間の多様性)。そして学習が成立した後はマップの形状は変わらない(個人内の一貫性)。

SOLAは共感覚現象に関する世界で初めての計算論的モデルである。それまでの共感覚研究においては、共感覚現象は異なる感覚次元間のランダムな神経結合によって生じるという見方が主流であった。研究代表者は、数字列形の属性 c)に着目し、感覚次元間で自己組織化学習が行われているという新たな見方を提案した。しかし色字共感覚など、その他の共感覚に SOLA を適用できるかどうかは不明である。また、異種感覚次元間の神経結合が共感覚者に固有のものなのか、それとも非共感覚者にも共通して存在するのかについても議論が続いている。非共感覚者も異種感覚次元間の神経結合を持つが、異種感覚次元からの入力抑制されるのかもしれない。その場合、非共感覚者においても異種感覚同士の対応が存在するが、それに起因する神経活動が維持されないため意識化されることがないと考えられる。

一方、非共感覚者を対象として、数と空間の関係について心理実験を用いた検討が行

われている。Dehaene, Bossini & Giraux (1993)による実験はとくに有名であり、数の偶奇判断において、大きな数では左手で反応した場合に、小さな数では右手で反応した場合に反応潜時が短い傾向が存在することが見出された SNARC 効果。これは、心的空間において数が左から右に並んでいることを意味すると解釈されている(心的数直線)。

このような従来の研究では、実験参加者の平均的傾向に関する検討がおこなわれてきた。一方、共感覚現象においては一般に個人間の多様性がきわめて高い。もし非共感覚者における数の大小判断に数字列形保持者と同様な異種感覚間の神経結合が関与しているのであれば、非共感覚者の反応傾向には共感覚者と同様、個人間での多様性がみられるはずである。

2. 研究の目的

本研究では、異種感覚間の自己組織化学習という枠組みの適用可能な範囲について検討するために、心理実験を用いて以下の2つの仮説を検証する。

- 1) 異種感覚次元間の自己組織化学習は非共感覚者においても行われている。
- 2) 色字共感覚など数字列形以外の共感覚においても自己組織化学習が行われている。

3. 研究の方法

< 仮説 1)に関する検討 >

数の大小判断に関する2種類の用いて検討を行った。矢印課題は、ディスプレイ上に呈示した2つの数の大小関係が同時に呈示された矢印の向きと一致するかどうかを答えるものだった。音声課題は、ディスプレイ上に呈示された2つの数のうち、大きい方をできるだけ早く読み上げるものだった。これら2種類の課題について、2つの数字のディスプレイ上での位置関係と数字の種類が反応潜時に与える効果について検討した。音声課題における刺激の布置を図1に示す。

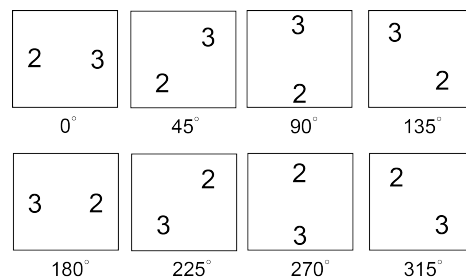


図1 刺激例。1つの数字ペアは上のように8種類の空間配置(角度)

これら2つの課題を用いた一連の実験から以下の結果が得られた。どの数字ペアがどの位置関係で呈示されたときに反応が速くなるのかは、実験参加者ごとに異なっていた。また、同じ参加者の中で、矢印課題と音声課題の反応時間の分布は類似していた。さらに、同じ参加者の反応時間の分布は、2週間後に

測定した場合も類似していた。以上の結果は、数の大小と空間的位置の間に参加者固有で課題に依存しない対応関係が存在することを示唆し、仮説1)を支持している。

矢印課題と音声課題の結果を比較すると音声課題の方がばらつきの少ないデータが得られていたため、以降の実験は音声課題のみを用いて行った。実験参加者個人内での統計的検定を行うため、一人あたりの試行数を大幅に増やし、2ヶ月以上の間隔を空けて音声課題による実験を繰り返した。その結果、下記の知見が得られた。上記の実験と同様、数字ペアの位置関係が反応時間に与える効果は個人間で異なっていた(図2)。また、個人内での統計解析により、個人ごとに異なる傾向が有意にみられることが判明した。さらに、数字ペアの差が1の場合と2の場合を比較することによって、差が1の場合の反応時間の傾向から、差が2の場合の反応時間の傾向を予測できることが分かった(図3,4)。これは、本研究で測定した反応時間の分布が、呈示された数字の空間的位置関係を確かに反映していることを示す。これらの結果は仮説1)を補強するものと言える。一方、2ヶ月の間隔を空けて同じ参加者を対象に実験を繰り返したところ、参加者によって、数字ペアの位置関係の効果が変化している場合と、変化していない場合があった。数の大小と空間的位置の間関係性については、必ずしも安定していない場合があることが分かった。

図2 音声課題による結果の一例。

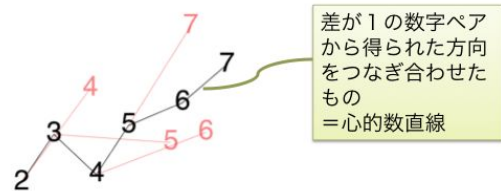
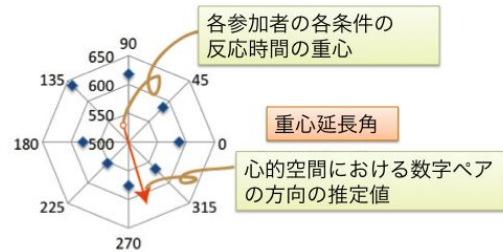


図3 心的空間における数の位置関係の推定

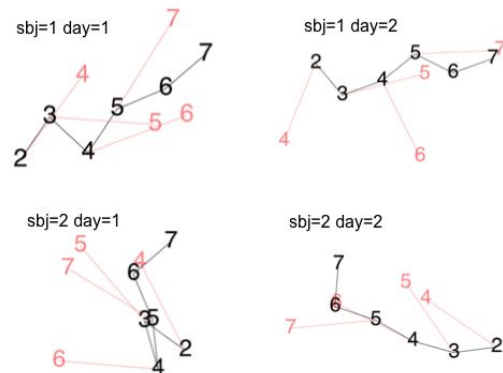


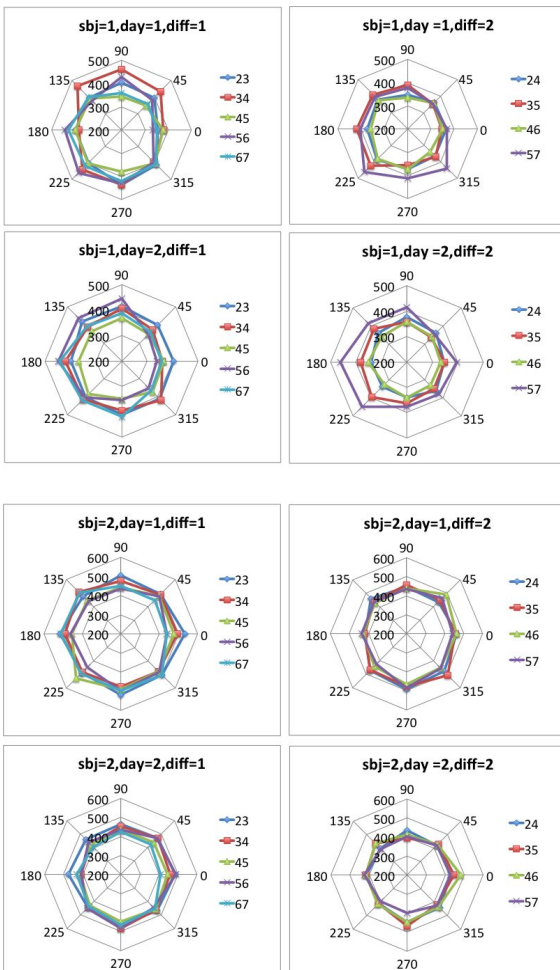
図4 推定された数字ペアの空間配置

< 仮説2)に関する検討 >

非共感覚者を対象に、様々な色のフォントで呈示された数字の音読潜時を計測した。非共感覚者において色と数字の間に自己組織化学習が生じているならば、特定の数字において、特定の色以外で呈示されたときには反応潜時が長くなるという、ストループ効果に類似した効果がみられるはずである(共感覚者では実際にそのような効果が得られている)。実験の結果、そのような効果は観測されず、仮説2)を支持する証拠は得られなかった。

4. 研究成果

仮説1)に関する検討により、非共感覚者の心的数直線は多様であり、必ずしも左から右に配置されているわけではないことが分かった。これは数の表象と空間表象との間で自己組織化学習が生じているという本研究の枠組みと一致する。このような個人間での多様性を系統的に明らかにした研究はこれまでになく、また、多様性を説明する原理も SOLA の他に提案されていない。本研究は、数と空間の関係性に関する研究に、新たな知見をもたらしたと言える。



一方、心的数直線の形状の時間的安定性（個人内での一貫性）については、2ヶ月の間隔を置いて実験した場合に形状が変化している場合も観測された。共感覚者では数と空間の対応に関する自己組織化学習の結果が安定的に保持されるのに対し、非共感覚者ではそうではないのかもしれない。今後、心的数直線の変化について詳細に検討していく必要がある。

仮説2)に関しては、少なくとも色字共感覚については非共感覚者において数字の色による反応時間の変動は観測されず、仮説を支持するような証拠は得られなかった。しかしこれは、反応時間の変動が微弱であり実験による検出ができなかったためかもしれない。また、色字共感覚者が自己組織化学習によって生じる可能性が否定されたわけでもない。自己組織化学習による他の共感覚現象の説明の可能性については、更なる検討が必要である。

数と空間の対応関係について、従来の研究では書字の方向など文化的な影響についての検討が行われてきたが、本研究により、個人間で多様な差異が存在することが判明した。少なくとも本研究の参加者については、心的数直線は左から右に進むとは限らず、途中で折れ曲がっている場合もあった。これは、数と空間という、「正しい」対応関係が存在しないモダリティ間の学習が、従来の枠組みでは捉えきれないことを意味する。本研究によって、数と空間の対応関係の学習が自己組織化学習の原理によって説明可能であることが明らかになったと言える。本研究の枠組みは、数と空間の対応関係のみならず、様々なモダリティ間マッピングについて適用可能かもしれない。

#### 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 2件)

Kido, K., Makioka, S. (2015). Serial order learning of subliminal visual stimuli: evidence of multistage learning. *Frontiers in Psychology*, 6, 76.

Kido, K., Makioka, S. (2014). Priming effects under continuous flash suppression: An examination on subliminal bottom up processing. *Japanese Psychological Research*, 56(2), 126-138.

〔学会発表〕(計 4件)

牧岡省吾 (2014). 非共感覚者における心的数直線の個人差と不規則性. 日本認知科学会第31回大会発表論文集, 679-684.

牧岡省吾 (2012). 非共感覚者における数の

大小判断と空間配置の関係性. 日本認知科学会第29回大会発表論文集, 855-859.

Kido, K., Makioka, S. (2012). Implicit learning on the order of the visual stimuli under interocular suppression. CogSci 2012, Sapporo, Japan.

Makioka, S. (2011). The ghosts of number forms: bending mental number lines in non-synaesthetes. CogSci 2011, Boston, Massachusetts, USA.

〔図書〕(計 1件)

牧岡省吾 (2012). 文字と単語の認知, 乾敏郎(編) 感覚・知覚・認知の基礎, オーム社, 189-200.

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ess.osakafu-u.ac.jp/human/makioka/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

牧岡 省吾 (MAKIOKA SHOGO)

大阪府立大学・人間社会学部・教授

研究者番号: 60264785

##### (2) 研究分担者

岡本 真彦 (OKAMOTO MASAHIKO)

大阪府立大学・人間社会学部・教授

研究者番号: 40254445

##### (3) 連携研究者

なし