

非共感覚者における心的数直線の個人差と不規則性

The ghosts of number forms (3): individual variation and irregularity in spatial configuration effect.

牧岡省吾

Shogo Makioka

大阪府立大学 現代システム科学域 環境システム学類
School of Environmental System Sciences, Osaka Prefecture University
makioka@hs.osakafu-u.ac.jp

Abstract

Some people automatically and involuntarily “see” mental images of numbers in spatial arrays when they think of numbers. This phenomenon, called number forms, shares three key characteristics with the other types of synaesthesia, within-individual consistency, between-individual variety, and mixture of regularity and randomness. The results of numerical comparison experiments suggest that mental number lines of non-synaesthetes vary by individuals.

Keywords — number forms, synaesthesia, numerical comparison

1.はじめに

数について考えるときに数字の配置に関する心的イメージが強制的に喚起される人がある。この現象はナンバーフォームズ(number forms)と呼ばれ、19世紀に Galton によって初めて報告された^[1]。この現象は数の概念と空間知覚の間の共感覚であると考えられている^[2]。Makioka は、数字列形の形状が脳内の自己組織化学習^[3]によって決まるという見方(SOLA: Self-Organizing Learning Account of number forms)を提案した^[4]。この枠組みは、a.規則性と不規則性の混交、b.個人間での多様性、c.個人内での一貫性という数字列形の特徴を説明する。a.は自己組織化学習が本来もつ特性である。b.は自己組織化学習の結果がネットワークの初期状態に依存することにより説明される。c.は安定したマップの形成後に学習が停止すると仮定することで説明される。

数の大きさと空間知覚との対応は数字列形の保持者に特有のものだろうか。Sagiv らは、数字列形の保持者が二つの数の大小判断を行う場合、それらが刺激画面上で本人の数字列形と一致する向きに並んでいる場合の方が、そうでない場合より反応時間が短くなることを見出した^[5]。一方、牧岡は^{[6][7]}、

非共感覚者による数字の大小判断課題の反応時間を個人ごとに分析することにより、数の空間配置と反応時間との関係性に個人差があり、その関係性は必ずしも規則的ではないことを見出した。

心的数直線に関する研究においては、多くの文化圏で数が左から右に並んでいるという見方が支配的である^[8]。しかし一方で、数の大小判断課題を用いた研究では必ずしも一貫した結果が得られていない^{[6][7]}。本研究では、非共感覚者における心的数直線の形状とその個人差について、一人あたりの試行数を増やし個人内分析における検定力を向上させることにより、詳しく検討する。

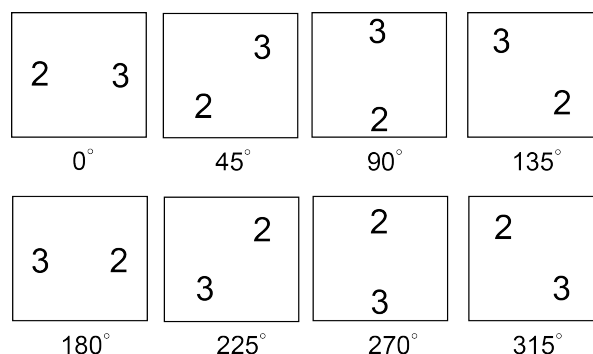


図1 刺激例。1つの数字ペアは上のように8種類の空間配置(角度)で呈示された。

2.方法

ディスプレイ上に2つの数字を呈示し(図1)、大きい方の数字を口頭で答えてもらい、音声反応の潜時を測定した。

実験参加者は大阪府立大学学部生・大学院生12名だった。うち数字列形を保持すると答えた3名のデータを除外し、計9名(男性1名)のデータを分析対象とした。平均年齢は20.7歳だった。

2つの数の位置関係は、数字が小さい方から左→

右に並ぶ場合を0度とし、時計回りに0~315度の8方向とした。数の大きさの差は1または2とし、2~7の数字のみを使い合計9種類の数字ペア (e.g. 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 2-4, 3-5, 4-6, 5-7) を用いた。刺激呈示と反応時間の計測には MATLAB 20012b と Psychtoolbox-3^{[9][10]}を用いた。実験制御には Apple: Mac mini, 刺激呈示用ディスプレイには ASUS: VG248QE, 音声取得には SONY : ECM-PCV80U を使用した。ディスプレイのフレームレートは 100Hz だった。

各試行の手続きは以下の通り。まず凝視点が提示され、参加者がスペースキーを押すと刺激が呈示された。参加者は、大きい方の数字を間違わない範囲でできるだけ早く声に出して読むことを求められた。各数字は「に」「さん」「よん」「ご」「ろく」「なな」とよむように教示した。反応は Psychtoolbox-3 の PsychPortAudio 関数を用いて取得され、刺激呈示開始から音声反応の立ち上がりまでの時間 (反応潜時) が自動計測されると共に、音声も録音された。実験終了後、実験者が記録された音声を聞き取ることで反応の正誤を判定した。

1日の実験の総試行数は8方向×9種類×繰り返し16回 = 1152 試行だった。2ヶ月以上の時間間隔を置いて、同じ実験を2回繰り返した。

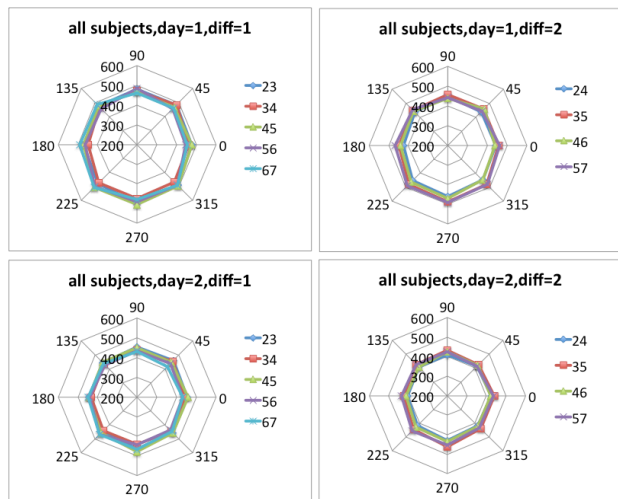


図2 実験日ごとの全参加者の平均反応時間(msec).

3.結果と考察

参加者ごとに、各実験日における条件ごとの反応時間の平均値を算出した。誤答および、反応時間が200ms未満あるいは1000ms以上の試行のデータを除外して分析を行った。全試行の平均正答率は

97.8%, 除外されたデータの割合は誤答も含めて3.1%だった。

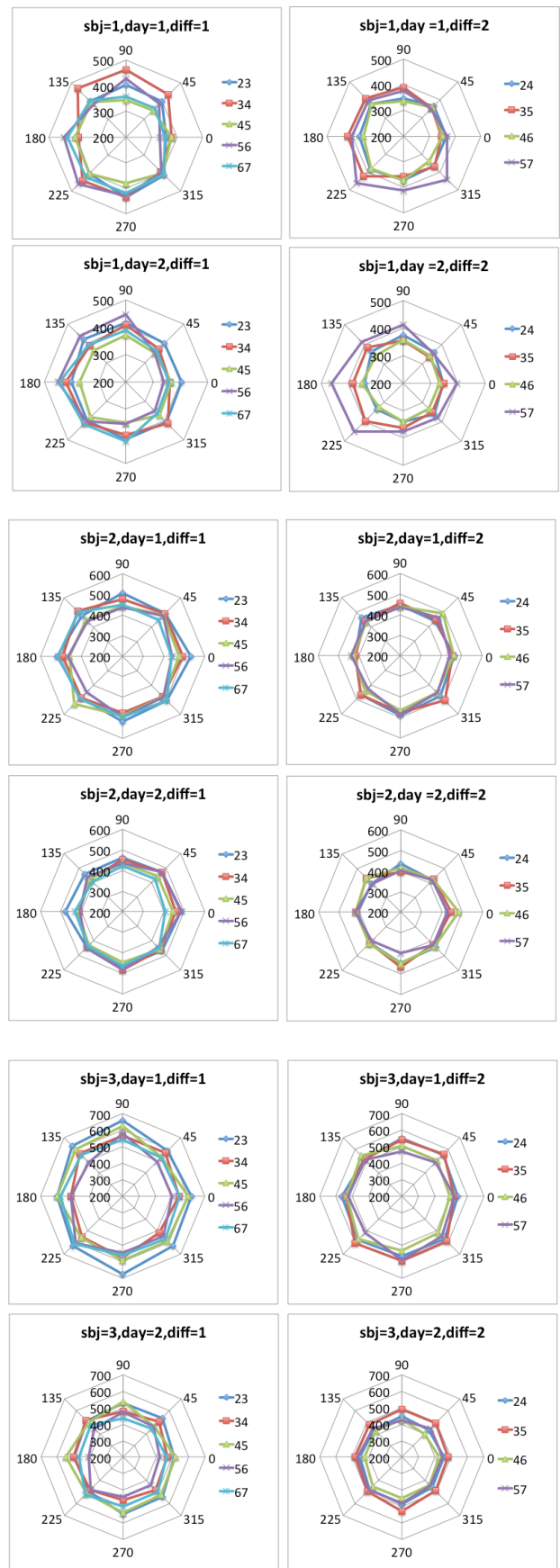


図 3-1 参加者 1~3 の条件ごとの平均反応時間 (msec).

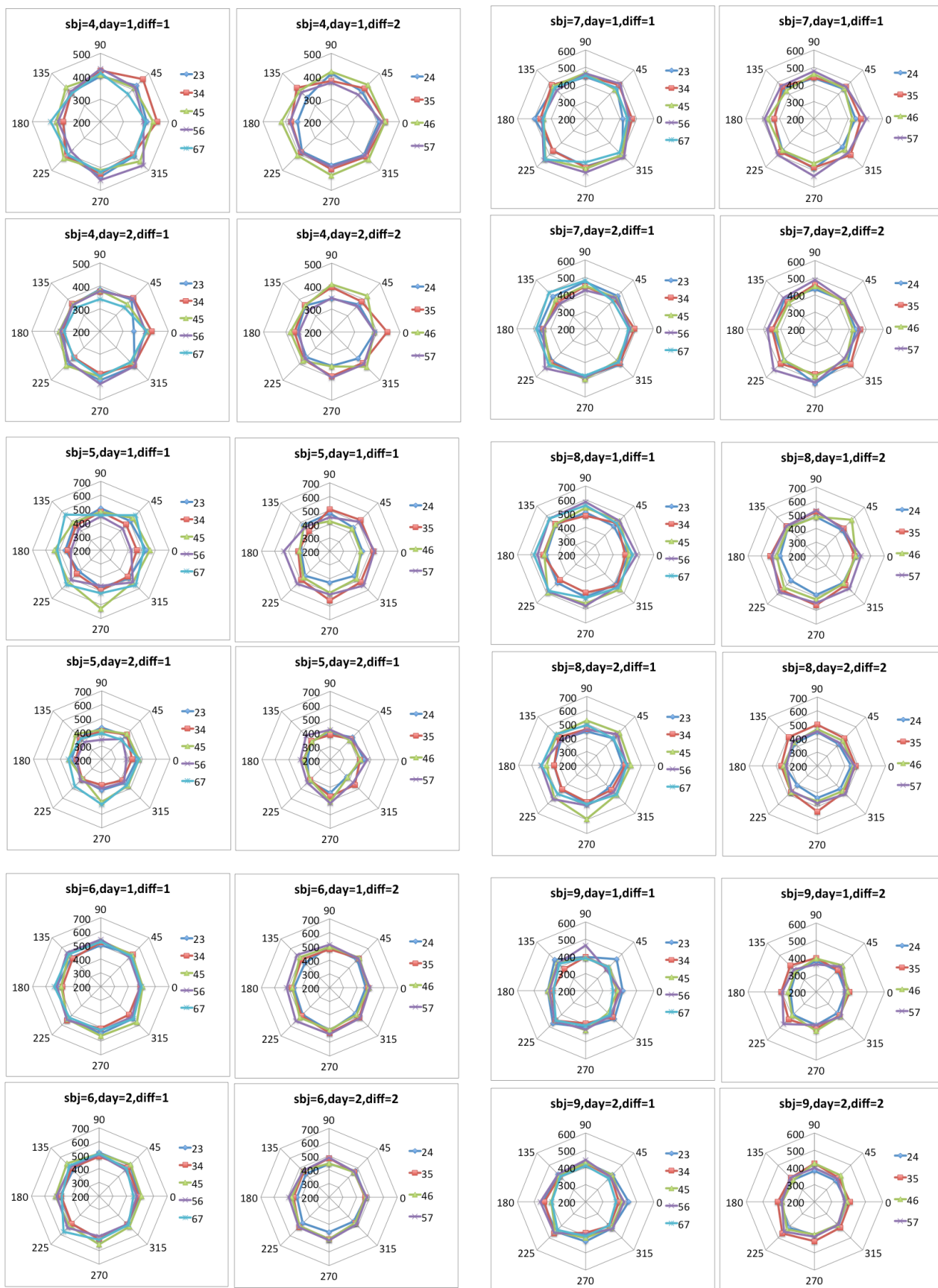


図 3-2 参加者 4~6 の条件ごとの平均反応時間 (msec).

図 3-3 参加者 7~9 の条件ごとの平均反応時間 (msec).

実験日（1日目，2日目）ごとの全参加者の平均反応時間を図2に示す。全参加者の平均値においては，空間的位置関係による反応潜時の差は明瞭には見られないことが分かる。

次に，各実験日における条件ごとの反応時間の平均値を参加者ごとに示す（図3）。グラフの各データ点は，誤答や外れ値による欠損がない場合，それぞれ16回の測定値の平均である。各空間配置に対する反応時間の分布は参加者ごとに異なっていることが分かる。また，数字間の差異が小さい参加者もいれば，大きい参加者も見られる。実験参加日の効果に関しては，2日目の方が1日目と比較してほぼ一貫して反応潜時が短かった。これは練習効果によるものと考えられる。

空間的配置と反応時間の関係についてさらに詳しく検討するために，対角線上にあたる条件間の反応時間が有意に異なるかどうかについて，参加者ごとに各条件の測定値を独立な試行とみなしてウェルチのt検定（両側）を行った。有意差が見られた条件のみを表1に示す。2つの数字の空間的位置関係が反応潜時に与える影響は参加者ごとに異なり，かつ数字ペアごとにも異なっていた。心的数直線に関する従来の見方通り右側に大きな数字が位置する場合の方が反応が速い場合もみられたが（参加者no.1），その逆の場合もみられた（参加者no.4,5）。また，空間的位置関係の効果は数字ペアによって異なっており，かつ参加者間でも異なっていた。

このような反応時間の分布が2つの数字の空間的關係を反映しているのかどうかを検討するために，差が1の数字ペアに関する結果が，差が2の数字ペアの結果と整合するかどうかを参加者ごとに検討した。たとえば数字ペア2-3と3-4における効果が，数字ペア2-4における効果と整合していれば，空間的な関係性を反映した効果が見られたと言える。まず，各参加者の各数字ペアにおける反応時間の分布から，反応時間の重心を算出した。これは，図3のレーダーグラフの各データ点の重心を算出することに等しい。次に重心とグラフの原点を結ぶ線分を原点を超えて伸ばしたとき，延長された線分が0°方向からみて時計回りになす角度（重心延長角と呼ぶ）を算出した。重心延長角は，重心の反対方向を表す角度であり，全方向の反応時間の分布から

みて反応が最も速くなる方向を意味する。次に，隣接する差が1の数字ペアふたつから得られた重心延長角の合成角（たとえば数字ペア2-3と3-4から得られた合成角）と，それに対応する差が2の数字ペアから得られた重心延長角（たとえば数字ペア2-4の角度）の差を算出した。

表1 対角線上の数字ペアの反応時間が有意に異なっていた条件。たとえば角度↘は，135°条件と315°条件（図1参照）を比較したとき，315°条件の方が有意に反応時間が短いことを意味する（有意水準はp<.05を*で，p<.01を**で，p<.001を***で示した）。

参加者	実験日	数字ペア	角度	有意水準
no. 1	1	3-4	↘	*
no. 1	1	3-5	→	**
no. 1	1	3-5	↗	*
no. 1	1	4-5	↗	*
no. 1	1	4-6	↘	*
no. 1	1	5-6	→	***
no. 1	1	5-6	↗	**
no. 1	1	5-7	↗	**
no. 1	1	6-7	→	*
no. 1	1	6-7	↗	*
no. 1	2	3-4	→	*
no. 1	2	3-5	↗	*
no. 1	2	5-6	→	***
no. 1	2	5-6	↓	**
no. 1	2	5-6	↗	*
no. 1	2	5-6	↘	***
no. 1	2	5-7	↗	***
no. 1	2	6-7	→	*
no. 1	2	6-7	↗	*
no. 2	1	3-5	↘	*
no. 2	1	5-6	↑	*
no. 2	1	6-7	→	*
no. 2	2	3-4	←	**
no. 2	2	3-4	↘	*
no. 2	2	3-5	↑	***
no. 2	2	4-6	←	**
no. 2	2	5-6	←	**
no. 3	1	5-6	↘	*
no. 3	1	5-6	↗	*
no. 3	1	5-7	↑	***
no. 3	2	4-6	↗	*
no. 3	2	5-7	↑	*
no. 3	2	6-7	↑	*
no. 3	2	6-7	↗	*

参加者	実験日	数字ペア	角度	有意水準
no.4	1	23	←	*
no.4	1	24	←	**
no.4	1	24	↘	*
no.4	1	34	←	**
no.4	1	35	←	**
no.4	1	56	↘	*
no.4	2	23	↑	*
no.4	2	24	←	*
no.4	2	34	←	*
no.4	2	34	↙	**
no.4	2	35	←	**
no.4	2	35	↘	*
no.4	2	45	↗	*
no.4	2	46	↓	*
no.4	2	46	↘	*
no.4	2	46	↙	*
no.4	2	56	↑	**
no.4	2	56	↘	*
no.4	2	57	←	*
no.4	2	57	↑	**
no.4	2	57	↘	***
no.4	2	67	←	*
no.4	2	67	↑	**
no.5	1	23	←	*
no.5	1	23	↙	**
no.5	1	35	←	*
no.5	1	35	↘	**
no.5	1	45	↑	**
no.5	1	46	↑	**
no.5	1	56	↘	***
no.5	1	57	↘	***
no.5	2	24	←	**
no.5	2	34	↙	*
no.5	2	35	↑	*
no.5	2	35	↘	**
no.5	2	45	↑	*
no.5	2	45	↙	*
no.5	2	46	↑	*
no.5	2	56	↑	*
no.5	2	57	↑	*
no.5	2	67	↑	**
no.5	2	67	↗	*

参加者	実験日	数字ペア	角度	有意水準
no.6	1	35	↑	*
no.6	2	24	←	*
no.6	2	35	↗	*
no.6	2	46	↑	**
no.6	2	46	↗	*
no.6	2	56	↗	*
no.6	2	57	↗	*
no.6	2	67	↗	**
no.7	1	23	→	**
no.7	1	24	↑	*
no.7	1	34	↑	*
no.7	1	45	↗	***
no.7	1	56	↘	*
no.7	2	24	↑	**
no.7	2	34	↘	**
no.7	2	35	↘	*
no.7	2	45	↑	*
no.7	2	56	↑	*
no.7	2	56	↘	*
no.7	2	56	↗	*
no.7	2	57	↗	**
no.7	2	67	↗	*
no.8	1	34	↙	*
no.8	1	35	→	*
no.8	1	35	↗	*
no.8	1	57	↗	*
no.8	2	34	↙	*
no.9	1	34	↗	**
no.9	1	35	↗	*
no.9	1	45	↘	*
no.9	1	56	↗	***
no.9	1	57	↗	*
no.9	1	67	↗	*
no.9	2	34	↓	*
no.9	2	35	↗	*
no.9	2	56	↓	**
no.9	2	56	↗	*
no.9	2	57	↗	*

各数字ペアの重心延長角がランダムかつ独立に決まるという仮定に基づくモンテカルロシミュレーションを100万回繰り返すことにより、差が1の2つのペアの合成角と、差が2の重心延長角の差の絶対値に関する確率分布を得た(図4)。その結果、角度の差が45°未満となる確率は1%を下回ることが分かった。

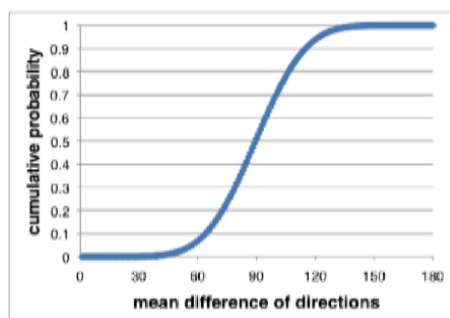


図4 モンテカルロシミュレーションの結果。

各参加者の各実験日のデータについて、数字ペア 2-4,3-5,4-6,5-7 に関する重心延長角の差を算出したところ、全 72 ペア (4 種類×2 実験日×9 名) 中 52 ペアにおいて 45°を下回っていた。これは、全体の 7 割の数字ペアにおいて空間的位置関係を反映した反応パターンが観測されたことを意味する。本実験における反応時間の分布は、空間的位置関係を確かに反映していたと言えるだろう。

4.まとめ

以上の結果は、牧岡^{[5][6]}のこれまでの実験結果と一致しており、非共感覚者の心的数直線が必ずしも左から右に配置されているわけではないことを示している。先行研究においても左から右に向かう心的数直線を再現することができなかった例が知られており^{[11][12]}、これは心的数直線の向きが個人間で異なるという見方と整合し、非共感覚者の心的数直線の生成過程を SOLA^[4]の枠組みで説明可能であることを示唆する。

一方、最近の研究では、直前に課された課題により SNARC 効果が減衰するという結果も得られている^[13]。これは、非共感覚者の心的数直線が経験により変動することを示唆し、本研究で見られた 1 日目と 2 日目の反応時間分布の変化と整合する。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。

文献

- [1] Galton, F. (1880). Visualised numerals. *Nature*, 21, 252-256.
 [2] Dehaene, S. (1997). *The number sense*. New York: Oxford University Press.

- [3] Kohonen, T. (1982). Analysis of a simple self-organizing process, *Biological Cybernetics*, 44, 135-140.
 [4] Makioka, S. (2009). A self-organizing learning account of number-form synaesthesia, *Cognition*, 112, 397-414.
 [5] Sagiv, N., Simner, J., Collins, J., Butterworth, B., Ward, J. (2006). What is the relationship between synaesthesia and visuo-spatial number forms?, *Cognition*, 101, 114-128.
 [6] 牧岡省吾(2009). 数の空間配置に関する共感覚の生成メカニズム, 日本認知科学会第 26 回大会発表論文集.
 [7] 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.
 [8] Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and numerical magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122, 371-396.
 [9] Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox, *Spatial Vision* 10, 433-436.
 [10] Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies, *Spatial Vision*, 10, 437-442.
 [11] Ito, Y., & Hatta, T. (2004). Spatial structure of quantitative representation of numbers: Evidence from the SNARC effect. *Memory & Cognition*, 32(4), 662-673.
 [12] Wood, G., Nuerk, H. C., & Willmes, K. (2006). Crossed Hands and the Snarc Effect: A failure to replicate Dehaene, Bossini and Giraux (1993). *Cortex*, 42(8), 1069-1079.
 [13] Pfister, R., Schroeder, P. A., & Kunde, W. (2013). SNARC struggles: Instant control over spatial-numerical associations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 39(6), 1953-1958.