

非共感覚者における曜日の空間的配列

Spatial representation of days of the week in non-synesthetes

牧岡 省吾
Shogo Makioka

大阪府立大学 人間社会システム科学研究科
Graduate School of Humanities and Sustainable System Sciences, Osaka Prefecture University
makioka@hs.osakafu-u.ac.jp

Abstract

People who have spatial sequence synesthesia have clear and stable mental image of a spatial array of numbers, days or months. The shapes of number arrays vary by individual. It has been not known that those who do not have synesthesia also have idiosyncratic spatial representation of days of the week. We conducted an experiment to estimate the spatial array of days of the week from the distribution of the response time. A pair of the letters that represents the days of the week were presented on the display, and participants without synesthesia were asked to answer which day comes later by pressing the key that congruent with the spatial position of the day on the display. We found that estimated spatial array of days of the week differ by individual, and that the shapes (straight, bent, zig-zag, or circular) are similar to those of synesthetes'. The idiosyncratic shapes of spatial sequence synesthesia can be explained by the neural network which conducts self-organizing learning between spatial and numerical representations.

Keywords — Spatial Sequence Synesthesia, Days of the Week, Self-Organizing learning

1. はじめに

空間的配列共感覚(Spatial Sequence Synesthesia)を持つ人は、数や曜日が特定の配列で並ぶ視覚的イメージをもつ。この現象は数字列形 (Number Forms) とも呼ばれ、共感覚の中でも比較的発生頻度が高い。配列の形状は、個人内では一貫性があり、数ヶ月の間隔を置いても変化が見られない。一方、個人間では多様であり、直線、円環、ジグザグなど様々な形状がみられる^[1]。一見不規則に見える形状であっても、数字は大きさの順に、曜日や月はその順序に従って並ぶ。

Makioka は、数字列形の形状が脳内の自己組織化学習によって決まるという枠組み(SOLA: Self-Organizing Learning Account of number forms)を提案した^[2]。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ナンバーフォームズの特徴を説明する。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。Makioka は、数の大きさを符号化した入力を SOM^[3]に与えて自己組織化学習を行わせることにより、数字列形と類似したマップが形成されることを見出した。

牧岡は、数字の大小判断課題を用いて非共感覚者における数字の空間的配列について検討した^[4]。反応潜時に対する空間的配置の効果について個人ごとに検討したところ、個人間で異なる空間的配列が得られることが分かった。本研究では、キー押しによって8種類の空間的配置について反応潜時を測定する新しい実験手続きを用いて、非共感覚者における曜日に関する空間的配列について検討する。

2. 方法

1 回目の実験に参加した大阪府立大学の学生、大学院生 19 名のうち、2 名は教示に従わず、1 名は誤答率が 50%を超えたため分析から除外し、16 名 (女性 12 名、平均年齢 20.25 歳) を分析対象とした。そのうち 12 名 (女性 9 名、平均年齢 20.25 歳) が、2 ヶ月以上の間隔を空けて 2 回目の実験に参加した。1 回の実験の所要時間は 60 分程度であった。

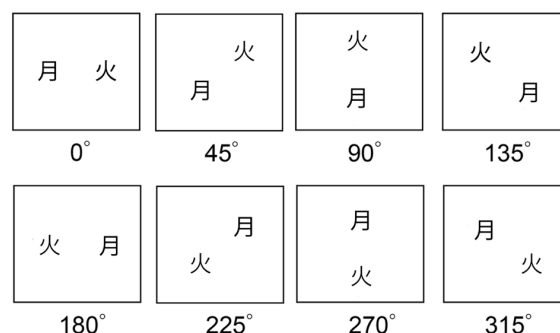


図1 刺激の空間的配置。

刺激として、月-火、火-水、水-木、木-金、金-土、月-水、火-木、水-金、木-土の9種類の曜日ペアを用いた。月-火の空間的配置の例を図1に示す。キーボード

とディスプレイの空間的配置を近づけるため、ディスプレイアームを用いて画面の角度がキーボードに対して10°程度になるようにディスプレイを配置した。1回の試行の流れは次の通り。画面中央に凝視点(黒い円)が呈示されると、参加者はテンキーの5のキーを長押しした。そのままキーを押し続けると凝視点の色が赤に変わり、刺激ペアが呈示された。参加者は、後の方に来る曜日の位置をキー押しによってできるだけ速く答えることを求められた。たとえば、図1の45°配置の場合、5のキーの右斜め奥に位置する9のキーが正答となる。刺激ペアが呈示されてから参加者がキーを押すまでの時間を反応時間とした。1回の実験の試行数は、刺激ペア9種類×空間配置8種類×繰り返し16回=1,152回であった。実験制御にはMATLAB及びPsychToolbox^[5]を用いた。

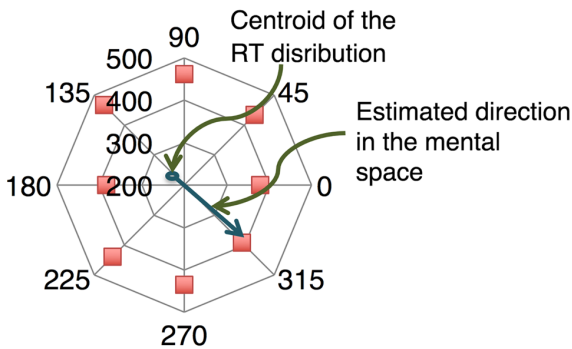


図2 反応時間の重心に基づく心的空間における配置の推定。

3. 結果と考察

誤答及び反応時間が200msec未満あるいは2000msecを超える試行のデータは分析から除外した。平均反応時間は1日目が819.14msec、2日目が653.76msecだった。誤答率は1日目が4.71%、2日目が3.97%だった。参加者の心的空間における曜日の配置を推定するために、各曜日ペアに対する8つの配置における正反応時間の重心を参加者ごとに算出した(図2)。重心は反応時間が長い配置の側に偏るため、原点から見た重心の反対方向は、その参加者の心的空間において曜日が並ぶ方向であると考えられる。この仮定に基づいて3名の参加者における各曜日ペアの配置をプロットしたものが図3である。曜日の配置は、参加者1の2日目を除いて直線的ではないことが見て取れる。参加者2では折れ曲がった直線状、参加者3では円環状の配置が見られる。1日目と2日目の配置は、参加者1では異なっ

ているが、参加者2と3では類似している。

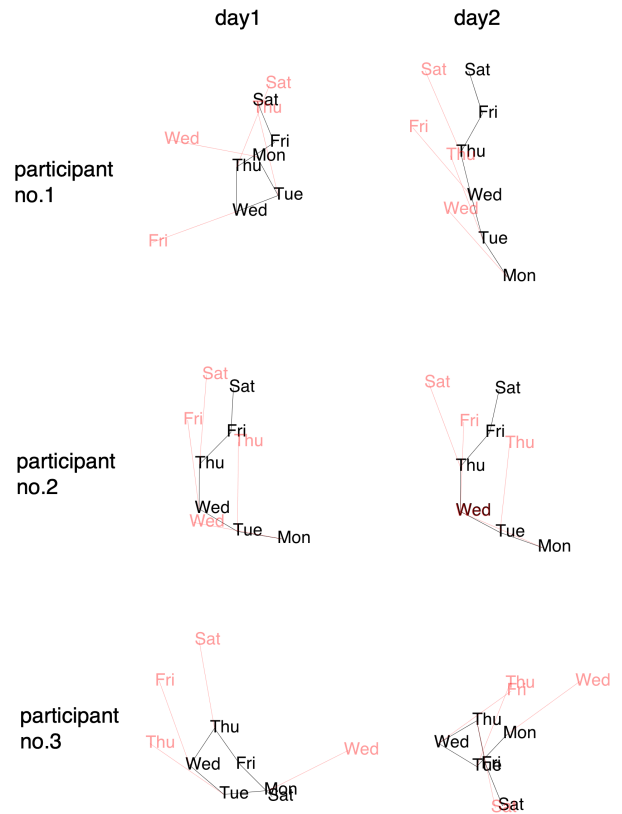


図3 反応時間の分布から推定された心的空間における曜日の配置。

このような配置が反応時間のランダムな変動に起因するものではないことを確かめるために、月-火と火-水のような連続するペアが構成する配置(配置1:図3の黒線)が、月-水のような連続するペアの両端の配置(配置2:図3の赤線)と一致するかどうかを確かめた。曜日の配置が空間的属性を反映しているなら、配置1と配置2の差異はランダムな変動から期待される値より小さくなるはずである。反応時間が正規乱数に依存して変動するという帰無仮説に基づいて上記の実験と同じ数の試行を行ったときに配置1と配置2が成す角度の平均値を算出するシミュレーションを100万回繰り返し、1°刻みの累積分布を算出した。その結果、参加者1人において配置1と配置2が成す角度の平均値が46°を下回る確率は5%未満であった。これを臨界値とみなしたとき、16人中8人の参加者で配置1と配置2が成す角度の平均値が臨界値を下回っていた(表1)。こ

れは、少なくとも8人の参加者において、曜日の配置が空間的属性をもつことを意味する。

表1 配置1と配置2の角度差を、参加者ごとにすべての曜日ペアで平均した値。

Participant	Mean angular difference	
	Day1	Day2
1	66.5	25.3 **
2	22.1 **	25.7 **
3	110.5	59.5
4	44.1 *	46.5 *
5	43.5 *	
6	69.5	
7	34.8 *	48.9 †
8	49.1 †	89.6
9	34.8 *	89.1
10	73.8	106.1
11	18.0 *	63.3
12	79.3	
13	95.7	47.2 †
14	15.7 ***	54.5 †
15	16.4 ***	15.0 ***
16	64.1	

同様な手法で、1日目(Day1)と2日目(Day2)の実験の両方に参加した実験参加者12名を対象に、2ヶ月以上の間隔を空けて行われた2回の実験から得られた空間的配置を比較した。配置1と配置2を込みにして、1日目と2日目において同じ曜日ペアの配置が成す角度の平均値を100万回のシミュレーションによって算出したところ、1日目と2日目の配置が成す角度の平均値が61°を下回る確率は5%未満であった。表2に示すように、12人中9人の参加者において、角度差の平均値は臨界値を下回っていた。これは、少なくとも9人の参加者において、曜日の空間的配置が2ヶ月の時間間隔を置いても偶然を上回る共通性を持つことを意味している。

表2 実験1日目と2日目における各曜日ペアの角度差を、参加者ごとに平均した値。

Participant	Mean angular difference
1	53.3 *
2	8.8 ***
3	51.3 *
4	44.3 **
7	65.0 †
8	42.0 **
9	47.1 **
10	102.7
11	47.3 **
13	78.9
14	55.3 *
15	27.6 ***

次に、参加者ごとに統計的検定を行うことによって、図3にみられるような反応時間の重心に基づく配置の推定の妥当性について検討した。まず、0°と180°のような対角を成す配置の反応時間の平均値を、各参加者の曜日ペアごとにWelchのt検定によって比較した。結果を表3に示す。矢印は有意差がみられた曜日ペアと配置を示す。たとえばTue-Wed←は、「火」と「水」のペアにおいて180°における平均反応時間が0°の平均反応時間より有意に短かったことを意味する。同じ曜日ペアで、複数の配置で有意差がみられた場合もある。表3に示された検定はすべて独立したデータに対して行われており、危険率の補正は不要である。表3に示される有意差がみられた曜日ペアの配置は、図3に示される曜日ペアの配置とある程度一致している。参加者2では図3における1日目と2日目の配置がよく類似しているが、表3に示されたペアについても1日目と2日目の類似性が高いことが分かる。

さらに、曜日ペアと空間的配置、およびそれらの交互作用が反応時間に有意な影響を与えているかどうかを、線形混合モデルによる分析を行った。Rのlmer関数を用い、検定にはlmerTestを使用した^[6]。分析は参加者ごとに行い、同一条件における試行の繰り返しをrandom factorとして用いた。結果を表4に示す。ほとんどの参加者において、曜日ペアと空間的配置の主効果が有意であった。交互作用については、半数強の割合で有意であった。交互作用がみられたことは、空間的配置の効果が曜日ペアによって異なること、すなわち、曜日が心的空間において「一直線上に並んでいない」ことを意味している。

以上の結果は、非共感覚者の心的空間における曜日の配置が、不規則な形状をもつ場合があり、個人間では多様であり、個人内ではある程度の一貫性を持つことを示唆している。これらの特性は共感覚者における数字列形と共通しており、自己組織化学習

が備える属性でもある。非共感覚者は数字列形を意識することはできないが、順序をもつ系列と空間の内部表現との間で自己組織化学習が生じているという点で共通している可能性がある。

表3 対角を成す配置間の反応時間に対する t 検定の結果。

Participants	Day of experiment	Significant configurations found by Welch's t-tests ($p = 0.05$)
1	1	Tue-Wed:← Wed-Thu:↗ Thu-Fri:↗ Fri-Sat:↑ Tue-Thu:↑ Wed-Fri:← Thu-Sat:↗ ↑
	2	Wed-Thu:← ↗ ↑ Fri-Sat:← ↑ Tue-Thu:↑ Thu-Sat:← ↗ ↑ ↖
2	1	Mon-Tue:← Wed-Thu:↗ ↑ ↖ Thu-Fri:↗ Fri-Sat:↗ ↑ ↖ Mon-Wed:← ↖ Tue-Thu:↖ Wed-Fri:↑ ↖ Thu-Sat:↗ ↑ ↖
	2	Mon-Tue:↖ Tue-Wed:↖ Wed-Thu:↑ ↖ Fri-Sat:↗ ↑ Mon-Wed:← ↖ Tue-Thu:↗ ↑ Wed-Fri:↗ ↑ ↖ Thu-Sat:← ↑
3	1	Tue-Wed:← Fri-Sat:↘ Mon-Wed:↗ Tue-Thu:←
	2	Tue-Wed:← ↖ Fri-Sat:↓ ↘ Mon-Wed:↘ Thu-Sat:↓ ↘
4	1	Mon-Tue:→ ↓ ↘ Tue-Wed:→ ↘ Wed-Thu:↙ ↑ Thu-Fri:↙ Fri-Sat:↙ Mon-Wed:↓ ↘ Tue-Thu:→ ↑ ↘ Wed-Fri:↙ Thu-Sat:← ↙
	2	Mon-Tue:← ↙ Tue-Wed:↘ Fri-Sat:↙ Mon-Wed:→ ↘ Tue-Thu:↘ Thu-Sat:← ↙ ↑
5	1	Tue-Wed:↙ ↓ Wed-Thu:↙ Wed-Fri:↓
6	1	Mon-Tue:→ Mon-Wed:→
7	1	Mon-Tue:↙ Tue-Wed:↙ ↖ Mon-Wed:↙ ↓ Tue-Thu:↙ Wed-Fri:↖
	2	Mon-Tue:← ↙ Wed-Thu:↖ Mon-Wed:← Tue-Thu:↑ Thu-Sat:→ ↗
8	1	Tue-Wed:→ Wed-Thu:↗ Fri-Sat:↑ Mon-Wed:↘ Tue-Thu:↑ ↖ Wed-Fri:↗ Thu-Sat:↑
	2	Mon-Tue:↓ Wed-Thu:→ Fri-Sat:↗ Mon-Wed:→ Thu-Sat:↑
9	1	Mon-Tue:↘ Wed-Thu:↗ Thu-Fri:↗ ↘ Fri-Sat:↖ Mon-Wed:↓ Tue-Thu:→ Wed-Fri:↑ ↘ Thu-Sat:← ↖
	2	Mon-Tue:→ ↓ ↘ Thu-Fri:→ Fri-Sat:↑ Mon-Wed:→
10	1	Tue-Wed:↘ Fri-Sat:↗ Thu-Sat:↑
	2	Wed-Thu:↙ Fri-Sat:←
11	1	Mon-Tue:→ Tue-Wed:← Wed-Thu:← ↙ Thu-Fri:→ Wed-Fri:↙ ↓ Thu-Sat:→
	2	Mon-Tue:↓ Wed-Thu:← ↙ ↖ Mon-Wed:↘ Tue-Thu:← Wed-Fri:↖
12	1	Mon-Tue:↙ Tue-Wed:← Wed-Thu:→ Thu-Fri:↘ Fri-Sat:↑
13	1	Mon-Wed:→ ↘ Wed-Fri:→ Thu-Sat:↖
	2	Mon-Tue:↘ Tue-Wed:↘ Wed-Thu:← Mon-Wed:↓ Wed-Fri:↑
14	1	Mon-Tue:↘ Tue-Wed:↘ Thu-Fri:↙ ↓ ↘ Fri-Sat:↘ Mon-Wed:↘ Wed-Fri:↙
	2	Tue-Wed:↘ Wed-Thu:↘ Thu-Fri:→ ↙ ↓ Fri-Sat:←
15	1	Mon-Tue:→ ↓ ↘ Tue-Wed:↓ ↘ Wed-Thu:→ ↘ Thu-Fri:↓ ↘ Fri-Sat:↙ Mon-Wed:↓ ↘ Tue-Thu:↘ Wed-Fri:↙ Thu-Sat:↓
	2	Tue-Wed:↘ Thu-Fri:↓ Fri-Sat:↓ Thu-Sat:↙
16	1	Mon-Tue:↘ Wed-Fri:→

表4 参加者ごとの各試行の反応時間に対する線形混合モデルによる分析結果.

Partici- pants	Day of experiment	Significant effects found by linear mixed model					
		Diff=1			Diff=2		
		Days Pair	Configuration	Interaction	Days Pair	Configuration	Interaction
1	1	†	***	*	***	***	*
	2	**	***	†	***	***	
2	1	***	***	***	***	***	***
	2	***	***	*	***	***	*
3	1	***	***	**	***	***	
	2	***	*	*	***	†	†
4	1	***	***	**	*	***	***
	2	***	***	**	***	***	**
5	1	***	***		***	***	†
6	1	***		*	***		**
7	1	***	**		*		***
	2	***	**	***	***	**	*
8	1	***	***	*	***	***	***
	2	***	*		*		
9	1	***	***	***	***	***	***
	2	***	***	***	***	***	*
10	1	***	**			*	
	2	***	***	**	†	***	
11	1	***	***	**	***	***	*
	2	***	***	***	***	***	*
12	1	***	*	**	**	***	
13	1	***			***	†	***
	2	***	***	*	**	**	†
14	1	***	***		***	*	
	2	***	***	*			
15	1	***	***		**	***	
	2	***	***		†	***	
16	1	***	*		*	***	

*** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$, † $p < .1$

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K00208 の助成を受けた。

参考文献

- [1] Eagleman, D. M. (2009). The objectification of overlearned sequences: a new view of spatial sequence synesthesia. *Cortex*, 45(10), 1266-1277..
- [2] Makioka, S. (2009). A self-organizing learning account of number-form synaesthesia. *Cognition*, 112, 397-414.
- [3] Kohonen, T. (1982). Analysis of a simple

self-organizing process, *Biological Cybernetics*, 44, 135-140.

- [4] 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..
- [5] Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies, *Spatial Vision*, 10, 437-442.
- [6] R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.