

非共感覚者における数の大小判断と空間配置の関係性

The ghosts of number forms (2): individual variation of spatial configuration effect on numerical comparison.

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 experiment suggest that mental number lines of non-synaesthetes share the properties above.

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、ナンバーフォームズの形状が脳内の自己組織化学習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^[3]。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^[4]に与えて自己組織化学習を行わせることにより、ナンバーフォームズと類似したマップが形成されることを見出した。

数の大きさと空間知覚との対応はナンバーフォームズの保持者に特有のものだろうか。Sagiv らは、ナンバーフォームズ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ナンバーフォームズ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、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^[6]。この結果は、非共感覚者においても「見えない」ナンバーフォームズが存在する可能性を示唆する。本研究では、非共感覚者における数の大小判断と空間的な配置の関係性を更に厳密に明らかにするために、2つの課題の間の結果の一貫性および、時間をおいて再実験した場合の一貫性について検討する。

主として数の偶奇判断課題を用いた実験により、左から右に並ぶ心的数直線の存在が示唆されている^[7]。この種の実験では、通常、複数の実験参加者のデータの平均値の傾向について分析が行われる。本研究では、参加者全体の平均的傾向と、参加者それぞれの反応時間の分布に関する分析を併せて行う。

2.方法

実験参加者は大阪府立大学学部生・大学院生 13名だった。うち色字共感覚者 1名、2回目の実験を欠席した 1名、正答率が極端に低かった 1名のデータを排除し、計 10名(男性 3名)のデータを分析対象とした。

矢印課題：

ディスプレイ上に2つの数字と矢印を呈示し、数字の大小関係と矢印の向きが一致しているかどうかを答えてもらった(図1)。矢印は、その両端に二つの数字が位置するように、視野の中心に呈示さ

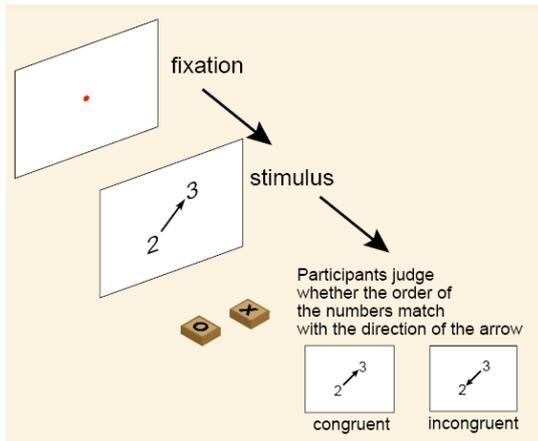


図1 矢印課題の流れ。

れた。矢印が大きい方の数字を向いている場合に正解とした。反応はキー押しで行い、反応時間を計測した。

音声課題：

ディスプレイ上に2つの数字を呈示し(図2)、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。各数字は「に」「さん」「よん」「ご」「ろく」「なな」とよむように教示した。

2つの数の位置関係は、数字が小さい方から左→

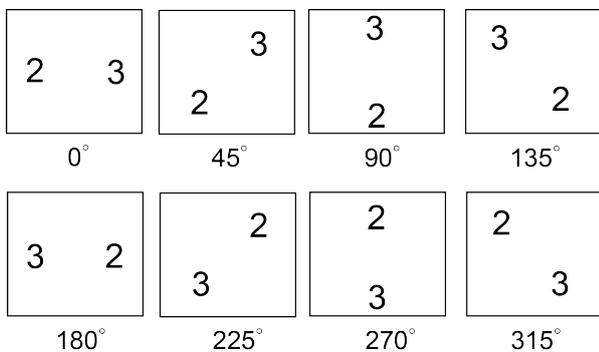


図2 音声課題の刺激例。1つの数字ペアは上のように8種類の空間配置(角度)で呈示された。

右に並ぶ場合を0度とし、0~315度の8方向とした。数の大きさの差は常に1とし、2~7の数字のみを使い合計6種類の数字ペア(e.g. 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7)を用いた。1回の実験における総試行数は矢印課題で960試行、音声課題で480試行だった。刺激呈示と反応時間の計測にはMATLAB 2009aとPsychtoolbox-3^{[8][9]}を用いた。1日目と2日目それぞれで2つの課題を両方行った。課題の順序は参加者間でカウンターバランスを取った。1日目と2日

目の間には14~16日の間隔を空けた。

3.結果と考察

矢印課題においては、矢印が大きい方の数字を向いている場合(一致試行)のみを分析対象とした。また、両課題において誤答は分析対象から除外した。音声課題のデータを分析したところ、「に」という読みに対して反応時間が正確に測定できない場合が多数あったことが明らかになった。そのため、両課題において数字ペア1-2に関するデータを分析対象から除外した。さらに、参加者ごとに各条件の反応時間の平均値と標準偏差を算出し、各数字ペアにおける平均値±3SDを超える試行のデータを外れ値として除外した。

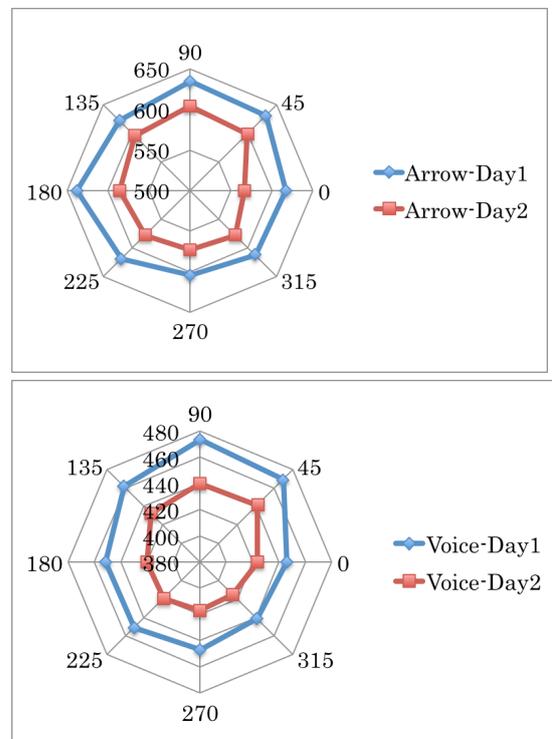


図3 各課題の平均反応時間(msec)。

各課題における、実験日ごと・角度ごとの平均反応時間を図3に示す(数字ペア3-4, 4-5, 5-6, 6-7の平均を示す)。各参加者の平均反応時間の対数を従属変数として分散分析を行った。先行研究との比較のため、数字の位置関係に関しては左右(0度—180度)、上下(90度—270度)のみについて分析を行った。実験日(Day1/Day2)×左右×数字ペアを要因とした参加者内3要因の分散分析の結果、矢印課題においては、Dayと左右の主効果が有意だった(Day:

$F(1,9) = 44.54, p < .001$; 左右: $F(1,9) = 7.275, p < .05$. 2日目の方が1日目より, 0度の方が180度より反応時間が短かった. Day の効果は練習効果と考えられる. 左右の効果は, SNARC 効果など先行研究の結果と一致しており, 「左から右に並ぶ心的数直線」という解釈と整合する. さらに, 左右×数字, Day×左右×数字の交互作用も有意だった(左右×数字: $F(4,36) = 2.7, p < .05$; Day×左右×数字: $F(4,36) =$

$2.783, p < .05$). 一方, 実験日(Day1/Day2)×上下×数字ペアを要因とした分散分析では, Day と上下の主効果がのみ有意だった(Day: $F(1,9) = 16.55, p < .01$; 上下: $F(1,9) = 10.26, p < .05$). 2日目の方が1日目より, 270度(下向き)の方が90度(上向き)より反応時間が短かった. 数字が下に向かって大きくなる方が速いという結果は, Ito & Hatta (2004)^[10] が偶奇判断課題で見出した効果と逆方向である.

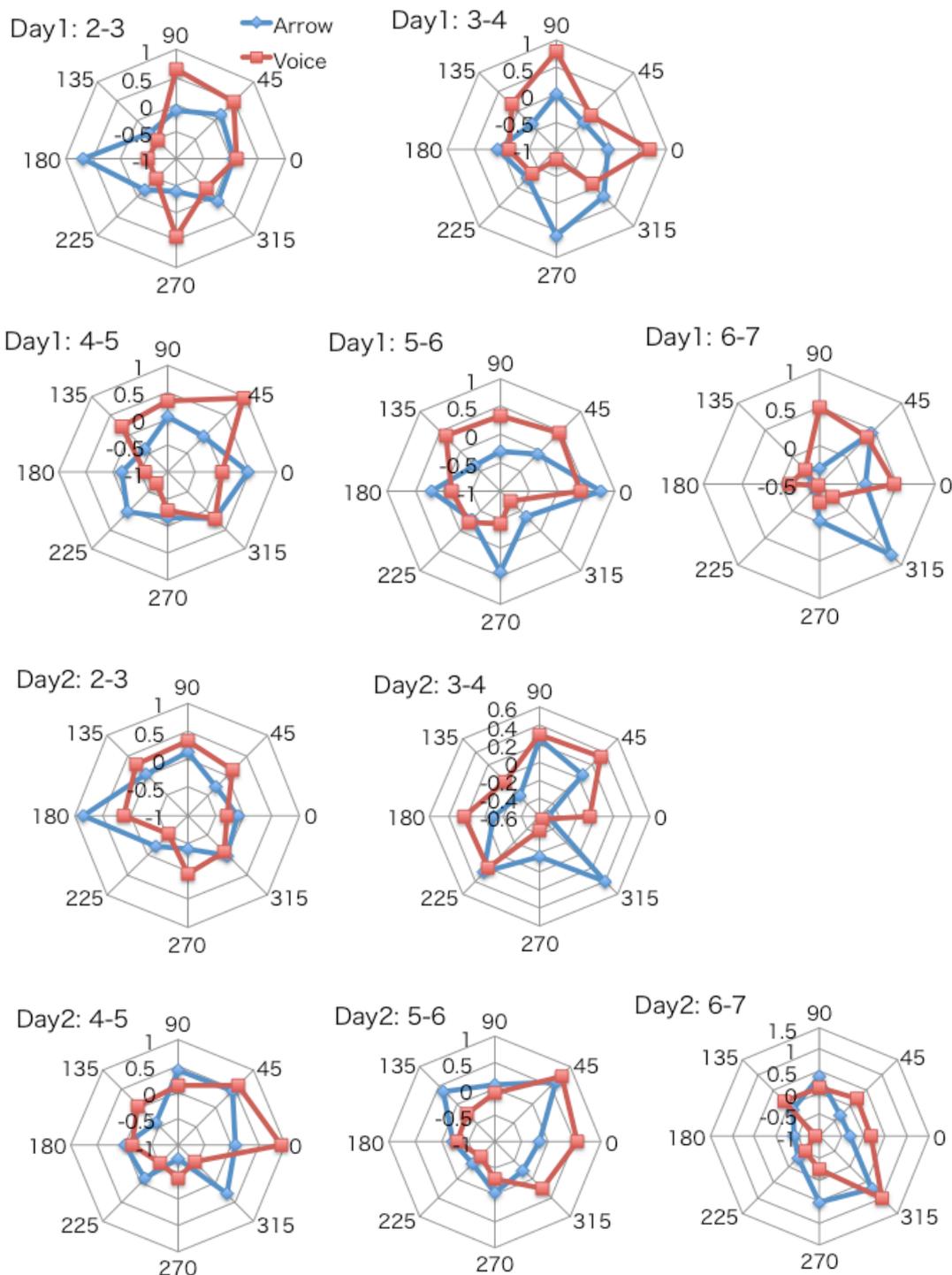


図4 被験者 no. 9 の反応時間の z 値の分布.

表1 モンテカルロシミュレーションの結果.

Participant	Day1	Day2	Arrow	Voice
	Arrow-Voice	Arrow-Voice	Day1-Day2	Day1-Day2
1	0.0001	0.0027	0.0007	0.0002
2	0.3246	0.5840	0.2179	0.0017
3	0.0687	0.0004	0.1451	0.0000
4	0.0063	0.0018	0.0050	0.0226
5	0.0128	0.0018	0.0375	0.0024
6	0.3696	0.3750	0.8701	0.0177
7	0.0046	0.5040	0.0028	0.0684
8	0.8815	0.3662	0.2843	0.5947
9	0.13361	0.02633	0.77253	0.0395
10	0.64944	0.00143	0.04138	0.01375

音声課題においても同様な分散分析を行った.左右方向に関する分析では主効果は見られず, Day×数字, 左右×数字の交互作用のみが有意だった(左右×数字: $F(4,36)=2.901, p<.05$; Day×左右×数字: $F(4,36)=2.853, p<.05$).矢印課題でみられた右方向が速いという効果は確認されなかった.上下方向に関する分析では, 上下の主効果がのみ有意だった(上下: $F(1,9)=24.74, p<.001$).この効果は矢印課題と一致する.

次に, 参加者ごとの分析を行った.まず, 矢印課題と音声課題の結果を比較するために, 参加者ごとに反応時間を z 得点化した.参加者の反応時間の分布の例を図4に示す.10人のデータを合算した場合には右方向及び下方向が速いという傾向が見られたが, 個人別に分析すると, それと矛盾する傾向を示す数字ペアが存在することが分かる.どの数字ペアがどの方向で速く(遅く)なるのかが, 参加者ごとに異なっている可能性がある.

この可能性について検討するために, 参加者を要因とみなした分散分析を行った.ここでは, 8方向全ての角度を1つの要因として分析を行った.参加者×角度×数字ペアを参加者間要因として, 各試行の反応時間の対数を従属変数とした分散分析を行った.この場合, 誤答や外れ値に起因する欠損値が生じるため, 誤差項には Type III error を用いた.どの数字ペアがどの方向で速く(遅く)なるのかが参加者ごとに異なっているのであれば, 参加者×角度×数字ペアの交互作用がみられるはずである.分散分析の結果, 数字課題においては, 1日目, 2日目とも, 参加者×角度×数字ペアの交互作用は有意傾向であった (Day1: $F(252,3323)=1.1242, p<.1$; Day2: $F(252,3336)=1.1384, p<.1$).矢印課題に関しては,

1日目, 2日目とも, 参加者×角度×数字ペアの交互作用は有意であった(Day1: $F(252,3449)=1.3134, p<.001$; Day2: $F(252,3489)=1.1592, p<.05$).以上の分析から, どの数字ペアがどの方向で速く(遅く)なるのかが, 参加者ごとに異なっていることが分かった.これは, 「心的数直線」が参加者ごとに不規則に変化している場合に予想される結果であり, 非共感感覚者において, 数と空間の内的表象間に自己組織化学習が生じているという見方と合致する.

次に, 各参加者の反応時間の分布が課題間, 実験日間で一貫性を持つかどうかについて検討した.図4に示される各参加者の角度ごとの反応時間の z 得点に関して, 課題間, 実験日間の類似度を計算した.類似度の指標としては z 得点間のユークリッド距離を用いた(グラフの2点間の距離に相当).得られた類似度が偶然の変動の範囲内に収まるかどうかを検討するために, 比較対象とする2つの分布のうち一方の角度をランダムに並べ替えて類似度を計算することを10万回繰り返すモンテカルロシミュレーションを行った.シミュレーションで得られた類似度の累積分布から, 実験で得られた類似度値が偶然に得られる確率を見積もった結果を表1に示す.これらの確率は, 統計的検定における危険率に相当するとみなすことができる.

同一実験日の矢印課題と音声課題に関しては, 半数程度の参加者において, 偶然とみなせない程度の反応時間分布の類似性がみられた.また, 同一課題の反応時間の分布を実験日間で比較した場合, 矢印課題で半数程度, 音声課題で9割の参加者において, 偶然とみなせない程度の類似性がみられた.これらの結果から, 本実験で得られた反応時間の分布は, その実験時のみに偶然生じた変動ではなく, ある程度の一貫性を持っている場合が多かったと言える.これは, 非共感感覚者において数と空間の内的表象間に自己組織化学習が生じ, その結果が定着しているという見方と合致する.

4.まとめ

非共感感覚者を対象に, 矢印課題と音声課題という2つの課題を用いて, 2つの数字の空間的位置関係が数の大小判断課題の結果に与える影響について検討した.10人の実験参加者の全体的傾向について

分析した結果は、矢印課題では、右から左に向かう心的数直線という、従来の見方と整合していたところが個々の参加者の反応時間分布を分析すると、空間的位置関係が数字ペアの大小判断に与える影響が参加者ごとに異なることが分かった。さらに、同一日に行った2つの課題の反応時間分布の類似性と、14~16日の間隔を空けて行った同一課題の反応時間分布の類似性について検討した結果、個々の参加者の反応時間分布には一貫性がみられる場合が多いことが分かった。

以上の結果は、ナンバーフォーム保持者と同様、非共感覚者においても数の表象と空間の表象の間に自己組織化学習が行われることによって個人間の多様性が生じ、学習が平衡状態に達したことにより定着しているという見方を支持している。今後は、本実験で得られた反応時間の分布が空間的な属性を備えているかどうかについて検討する必要がある。

参考文献

- [1] Galton, F. (1880). Visualised numerals. *Nature*, 21, 252-256.
- [2] Dehaene, S. (1997). *The number sense*. New York: Oxford University Press.
- [3] Makioka, S. (2009). A self-organizing learning account of number-form synaesthesia, *Cognition*, 112, 397-414.
- [4] Kohonen, T. (1982). Analysis of a simple self-organizing process, *Biological Cybernetics*, 44, 135-140.
- [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] Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and numerical magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122, 371-396.
- [8] Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox, *Spatial Vision* 10, 433-436.
- [9] Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies, *Spatial Vision*, 10, 437-442.
- [10] Ito & Hatta (2004). Spatial structure of quantitative

representation of numbers: Evidence from the SNARC effect, *Memory & Cognition*, 32, 662-673.