

100から1000までの数の空間表象

Mental representation for the number from 100 to 1000

岡本 真彦[†], 米澤 生筒美[†]
OKAMOTO Masahiko, YONEZAWA Itsumi

[†] 大阪府立大学人間社会学部
Osaka Prefecture University, School of Humanities and Social Sciences
okamoto@hs.osakafu-u.ac.jp

Abstract

This article discussed about the structure of mental representation for number from 10 to 1000. Two experiments were carried out to examine this purpose. The results showed that the decade break at 100 was obtained in two experiments. It indicated that we have the discontinuity number space from ten-base number representation to hundred-base number representation. And the distance effect was obtained for both hundred-base and thousand-base number representation in experiment 2. This result indicated that we have the magnitude information in hundred-base number representation and thousand-base number representation.

Keywords - number representation, SNARC effect, distance effect, decade break, five break

1. はじめに

Dehane (1997)は、1から9までの数に対する心的表象が、右から左に空間的に配置されているという考えを提唱している。2つの数を対提示して、その大小判断を求めた時に、右側に大きな数が配置される場合（例えば、“3-7”）の方が、左側に大きな数が配置される場合（例えば、“7-3”）に較べて反応時間が短くなるというデータが数多く報告されており、有力な仮説として受け入れられている。一方で、数の空間表象については、近年様々な議論が行われている。例えば、Domahs, Moeller, Willmes, & Nuerk (2010)は、1から5までの間でも5にひとつの段差があり、10を超えるところでも別の段差があるとしている。このことは、Dehane (1997)が提唱するような1から9までの数が連続的に配置されているという考えとは一致しない。

特に、Domahsら(2010)に限らず、10を超える数や100、1000を超える数の空間表象がどのような構造をしているのかということについては、議論が分かれているのが現状である。例えば、Gibbon & Church (1981)やSiegler & Opfer (2003)は、数の表象は大きくなるにつれて、距離が小さくなるような対数的な表象であるとしている。

Dehane (1997)にしても、Domahsら(2010)やGibbon & Church (1982)にしても、議論の焦点は、数の空間表象の構造的な相違であるが、個人間で共通した数の表象を持っているということでは一致している。これに対して、Galton (1980)やMakioka (2009)は、数の空間表象は、ヒトによってユニークな表象を持っており、共通の空間表を持っていないとする研究者もいる。

しかしながら、これらの全ての研究は同じ課題やパラダイムを用いて検討したものではなく、様々に違った課題で得られた結果をもとに考案された数の表象モデルである。その意味では、これらの全てのモデルを一つにまとめて議論すること自体に無理がある。そこで、多くの実験的証拠が挙がってきている、2数を提示してその大小判断を求めるとい課題を用いて、研究の知見を集めることが、数の空間表象の構造に関する議論の不一致を解消するための一つの方向であろう。

すなわち、本研究の目的は、これまでに様々なモデルが提唱されている100から1000までの大きな数の空間表象の構造がどのようになっているのかについて、数の大小判断課題を用いて検討することである。

2. 実験 1

目的 本研究の目的は、100から1000までの数の空間表象を検討することであった。我々は、100から1000までを数えあげてを求められた時、“100, 101, 102, …, 999, 1000”と数え上げることもできれば、“100, 110, 120, …”や“100, 200, 300, …”と数え上げることもできる。このことは、我々が100から1000までの数を、1単位でも、10単位でも、あるいは、100単位でも扱うことができることを示しているが、実際、認知的にもそれらの数の表象を同等に扱うことができるかどうかを検討することを実験1の第1の目的とした。加えて、従来の数表象の研究では、比較する数の間隔が大きい方が、判断に要する時間が短くなる距離効果の存在が報告されているので、10単位の表象や100単位の表象でも距離効果が見られるかどうかを検討することを第2の目的とした。

方法 参加者：大学生25名が実験に参加した。
 課題と刺激：課題は、100をプライム刺激として提示し、その後、1-1000までのターゲット数を提示し、ターゲット数が100よりも大きいのか小さいかの大小判断を参加者に求めるものであった(図1)。ターゲット数は、100から10ずつ小さくなる10系列(90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10), 100から10ずつ大きくなる110系列(110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190), 100から100ずつ大きくなる200系列(200, 300, 400,

500, 600, 700, 800, 900, 1000), そして1の28個であった。ターゲット数は、図1に示したように、プライムである100が提示される位置の左右どちらかに提示された。

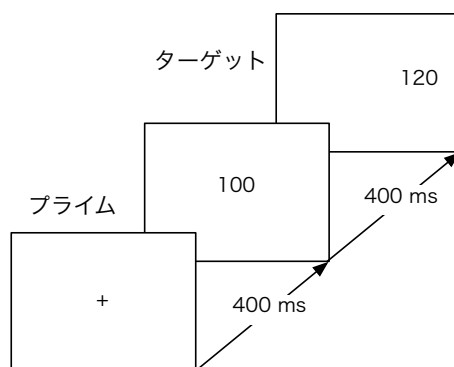


図1 実験1での刺激提示スケジュール

結果 分析には、大小判断が正しい反応の反応時間のみを用いたが、全反応時間の平均±2SDを超える反応時間については、分析から除外した。各ターゲット数への反応時間(図2)について、2(提示位置:左 vs. 右)×3(系列:1-3)×9(系列位置:1-9)の3要因分散分析を行った。系列位置とは、3つの系列における100からの距離であり、系列位置2となるのは、「80」、「120」、「300」である。

分析の結果、系列の主効果が有意であったので($F(2, 48)=71.65, p<.01$), 下位検定を行うと、系列1が系列2, 3よりも反応時間が長くなることが明らかになった($p<.05$)。また、系列位置の主効果も有意であり($F(8, 192)=4.84, p<.01$),

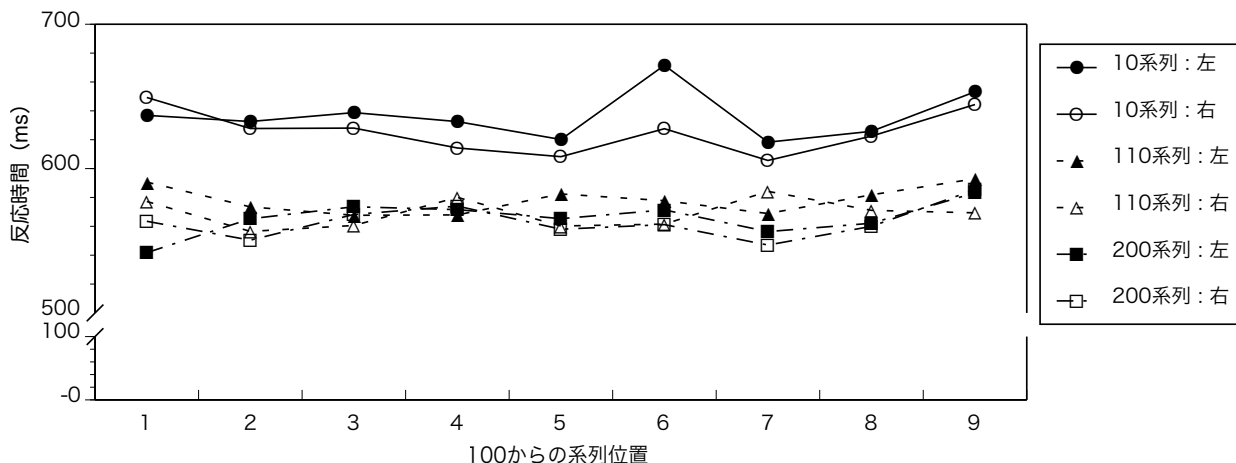


図2 ターゲット数の大小判断に要する時間

下位検定の結果、系列位置9が、2, 5, 7, 8よりも反応時間が長くなっていた ($p<.05$)。さらに、系列×系列位置の交互作用も有意であった ($F(16, 384)=3.15, p<.01$)。

考察 第1の目的に関して、本研究の結果からは、系列の種類によって反応時間が異なり、10から90までのターゲット数への反応が、その他のターゲット数への反応に比べて明らかに長くなっていることが示された一方で、110から190の系列2と200から900の系列3の間には差は見られなかった。この結果は、100-110-120という10単位の数表象と100-200-300という100単位の数表象を同等に処理することができることを示しており、100から1000までの数の空間表象では、10幅をベースとした空間区切りと100幅をベースとした空間区切りのどちらも利用可能な状態の空間表象が構築されていることが示唆される。

これに対して、100より小さな数を含む10系列では、一貫して反応が遅くなっている。この結果については、いくつかの解釈が可能である。一つ目は、1から1000までの数の空間表象において、1から100までの空間距離と100から1000までの空間距離が異なっており、100よりも左側(小さい側)の空間距離が短いために、小さい数での反応時間が長くなるという解釈である。二つ目の解釈は、被験者の処理方略によるものであるという解釈である。というのも、実験1では、ターゲット刺激の2/3を100よりも大きな数が占めている。そこで、被験者が100をベースにそれよりも大きな数を表象して反応するという方略をとっていたのならば、その結果として100よりも小さい数への反応が遅くなると考えられる。三つ目の解釈は、1から1000までの数の空間表象の100の位置に明確な段差が存在し、90-100-110といった100をまたぐような数の空間表象には連続性がないという解釈である。Domahsら(2010)は、1から20までの数を用いた実験で、10の位置に明確な段差(decade break)があることを報告しており、100の位

置にも同様の段差があると考えられることもできる。ただ、これらのうちどの解釈が正しいのかについては、本研究からは結論づけられず、さらに検討が必要である。

第2の目的に関しては、どの系列であっても系列位置が大きくなるにつれて反応時間が短くなるといった距離効果は見られなかった。先行研究では、空間距離が大きくなるにつれて、反応時間が短くなる距離効果が現れていることが多く、本研究の結果は、それらと一致しない。この結果の不一致は、先行研究の多くが2数を同時提示して大小判断を求めているのに対して、本研究は、プライムとして提示した後に、ターゲット数を提示するというパラダイムを用いたことが原因ではないかと考えられる。大きな数の空間表象が、直線的であるか、対数的であるかということについては、議論が分かれるが、少なくとも一定の順序性があるということ先行研究でも支持されているので、本研究の結果から距離効果が見られないからといって、100から1000にかけての数の空間表象は順序的なものではないと結論づけることはできないと考えられる。

3. 実験2

目的 実験1の結果からは、100をまたぐような数は、連続的な空間表象構造となっていない可能性が示された。そこで、実験2では、第1に、100と1000をまたぐ数の空間表象が連続性を持つかどうか、第2に、それらの数の空間表象が順序性を持つのか(距離効果が見られるのか)どうか、第3に、大小判断の基数が0以外であっても、上記の効果が見られるのかどうかについても検討する。

方法 参加者:大学生36名が実験に参加した。課題と刺激:実験2では、2つの数を対提示し、どちらの数が大きいかどうかの大小判断を求め課題であった。刺激として用いた数字ペアは、表1に示した32組のであった。刺激の提示スケジュールは、図3に示した。

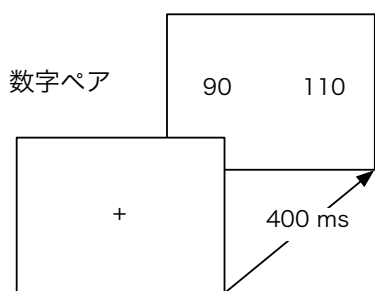


図3 実験2での刺激提示スケジュール

結果 大小判断が正しい試行で、反応時間が全体の平均±2SD を超えない試行を除いて分析を行った。最初に、100 を中心とした数字ペアの反応時間について、2（基数: 0 vs. 5）× 2（桁の異同: 同桁 vs. 異桁）× 2（距離: 近距離 vs. 遠距離）× 2（提示位置: 左 vs. 右）の4要因分散分析を行った結果、基数の主効果 (F(1, 35)=15.61, p<.01), 桁の異同の主効果 (F(1, 35)= 132.48, p<.01), 距離の主効果 (F(1, 35)=13.80, p<.01) がいずれも有意であった。また、桁の異同×提示位置の交互作用 (F(1, 35)=5.65, p<.05), 基数×提示位置の交互作用 (F(1, 35)=19.67, p<.01) が有意であった。次に、1000 を中心とした数字ペアについても同様に分散分析を行った結果、基数の主効果 (F(1, 35)=11.07, p<.01), 桁の異同の主効果 (F(1, 35)= 129.10, p<.01), 距離の主効果 (F(1, 35)=7.34, p<.01) がいずれも有意であった。また、桁の異同×提示位置の交互作用 (F(1, 35)=5.68, p<.05), 基数×提示位置の交互作用 (F(1, 35)=19.10, p<.01), 基数×距離の交互作用 (F(1, 35)=5.81, p<.05) が有意であった。

考察 第1の目的に関しては、本実験の結果からは、異桁は同桁の数字ペアの場合よりも反応が速く、かつ、異桁数字ペアの場合には距離効

果が明確に見られない。これらのことから、90-100-110 や 900-1000-1100 といった1000 や 10000 をまたぐような数字の表象が不連続な表象であるということは先行研究からも結論づけられず、10 から 1700 ぐらいまでの数の空間表象の1000の位置や10000の位置には、一定の段差が存在すると考えるほうがより妥当ではないだろうか。

また、第2の目的に関しては、同桁の数字ペアの場合には、一貫して距離効果が見られたことから、同桁内の数表象においては、順序性があるといえるだろう。この結果は、先行研究とも一致しており、1000 や 10000 を超えるような大きな数においても連続性のある数の空間表象が形成されていると考えてよいだろう。

最後に第3の目的に関しては、5を基数とするような大小判断を求めた場合でも、同桁の判断では距離効果が見られることから順序性があるといえるが、5を基数とした大小判断では、異桁の場合はいつも早く反応できているわけではなく、いくつかの条件下では、距離効果が見られない。すなわち、5を基数とした判断では、反応が安定しないということを意味している。これまで、特に子どもを対象とした数の空間表象の研究において、5を基数とした数の空間表象を形成しているとする研究が存在するが（栗山・吉田, 1985）、大人の大きな数の空間表象においては、5は基数となっておらず、Domahsら (2010) の5ベースの数表象というの小さな数に限られたものであると考えるのが妥当ではないだろうか。

表1 実験2で用いた刺激の数ペア

	0				5			
	同桁		異桁		同桁		異桁	
	近距離	遠距離	近距離	遠距離	近距離	遠距離	近距離	遠距離
100を中心とした数ペア	70 - 90 40 - 80	20 - 80 10 - 90	90 - 110 80 - 120	80 - 140 90 - 170	75 - 95 45 - 85	25 - 85 15 - 95	95 - 115 85 - 125	85 - 145 95 - 175
1000を中心とした数ペア	700 - 900 400 - 800	200 - 800 100 - 900	900 - 1100 800 - 1200	800 - 1400 900 - 1700	750 - 950 450 - 850	250 - 850 150 - 950	950 - 1150 850 - 1250	850 - 1450 950 - 1750

参考文献

- [1] Dehane, S. (1997) *The Number Sense*. Oxford University Press
- [2] Domahs, F., Moeller, K., Huber, S., Willmes, K., & Nuerk, H. (2010). Embodied numerosity: Implicit hand-based representations influence symbolic number processing across cultures. *Cognition*, 116, 251-266.
- [3] Galton, F. (1880). Visualised numerals. *Nature*, 21, 252-256
- [4] Gibbon, J., & Church, R.M. (1981). Time left: Linear versus logarithmic subjective time. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 7, 87-107.
- [5] 栗山和宏・吉田甫 (1995). 心的加算における数の表象構造について 教育心理学研究, 43, 402-410.
- [6] Makioka, S. (2009). A self-organizing learning account of number-form synaesthesia. *Cognition*, 112, 397-414.

付記 本研究は、第2著者の卒業論文として行われた研究の一部である。また、本論文の執筆においては、認知科学会の2人の査読者から貴重なご意見を頂いたので、ここに記して謝意を表します。

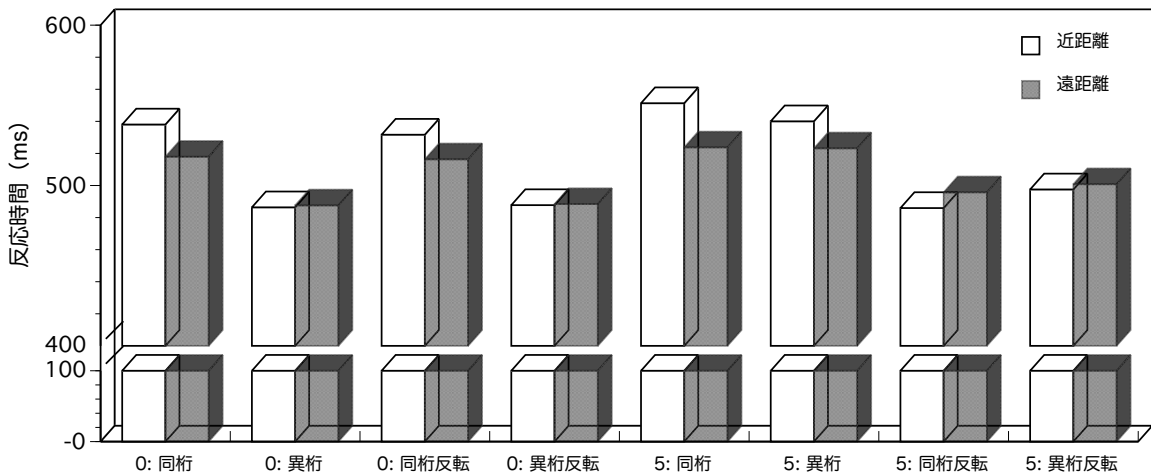


図4 100を中心としたペアでの大小判断に要する時間

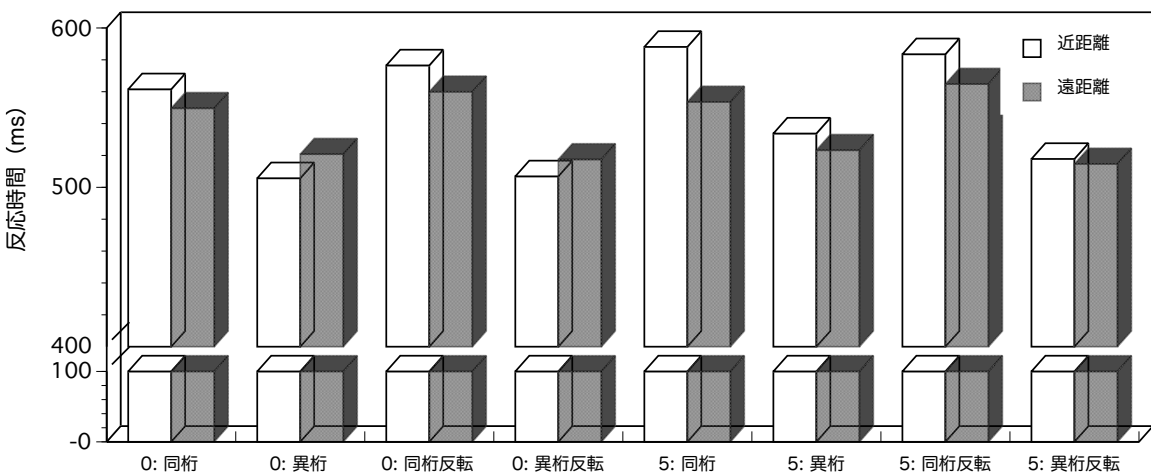


図5 1000を中心としたペアでの大小判断に要する時間