

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：14401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H06830

研究課題名(和文) ワーキングメモリパラダイムを用いた分数に対する数覚を支える認知過程の解明

研究課題名(英文) Investigation of cognitive processing for number sense to fraction by working memory paradigm

研究代表者

谷田 勇樹 (Tanida, Yuki)

大阪大学・連合小児発達学研究所・特任助教(常勤)

研究者番号：80800218

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、分数が示している値がどれくらいの大きさをしているのかを知覚する心の働き(数覚)の性質および数覚の生起に寄与する心的過程について、2数の大小判断課題や作動記憶パラダイムを用いて検討した。特に、分数の中でも親近分数(1/4, 1/3, 1/2, 2/3, 3/4)に焦点をあてた。これらの分数は先行研究によって分数の数覚の基盤となるということがわかってきたからである。本研究の結果から、1/4, 1/3, 1/2の3つの分数は他の分数に比べて数覚の精度が高いことが明らかとなった。また値が1/2付近の分数の数覚過程は他の分数に比べて視空間性ワーキングメモリへの依存度が低い可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

数学教育の向上には、我々が心の中で「数」という概念をどのように理解しているかを知る必要がある。本研究では数の中でも難しい概念である分数に焦点をあて、分数が表現している値への感覚的理解やその感覚が発生するまでの心の働きが分数ごとに異なり、一部の分数で洗練されていることを示したものである。この知見は、分数の心的表現を記述するモデルにおいて、分数ごとに異なる表現を用いる必要性を示すことから学術的に意義深い。さらにこの知見は、分数の教授の際にどのような分数を基準に教えればよいか、またどのような心的負荷を考慮する必要があるかという点で指針を与えており、教育的観点においても意義深い。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the nature of number sense for fractions and processes leading to fraction number sense, with magnitude comparison task. In particular, this study focused on familiar fractions, defined as 1/4, 1/3, 1/2, 2/3, and 3/4. This is because previous studies have revealed that these fractions should have some fundamental role for fraction number sense processing since these familiar fractions appear frequently in daily life. The current study revealed that number sense for 1/4, 1/3, and 1/2 are more sophisticated than other unfamiliar fractions. Additionally, visuo-spatial working memory might less contribute to cognitive processing for number sense of fractions around 1/2 than others.

研究分野：教育心理学、実験心理学、認知心理学

キーワード：分数 数覚 ワーキングメモリ 作動記憶 数認知 算数 数学教育

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

数学発達において、数の値の大きさに対する感覚的な理解(数覚)が重要になることが指摘されてきた。なぜなら数覚に優れた者ほど算数成績や計算処理成績が高いことが報告されてきたからだ(e.g., De Smedt, et al., 2009. *J. Exp. Child Psychol.*, 103, 469-479.)。一方で、数学発達研究において近年新しく注目され始めた研究対象が分数である。というのも、分数問題の成績が後年の数学成績を予測することなどが報告され始めたからだ(e.g., Siegler, et al., 2012. *Psychol. Sci.*, 23, 691-697.)。このような研究の蓄積から、分数は数学一般の理解や発達の基盤をなす重要な数概念であると考えられ始めた。特に大きな仮説として、離散値しか表現できない整数しか知らなかった数世界を、連続的なものへと発展・拡張させるのに寄与しているのが分数の理解なのではないかと考えられている。

こういった経緯から、分数に対しても整数と同様に数覚が生起するのかがどうか検討されてきた(e.g., DeWolf & Vosniadou, 2015, *Learn. Instr.*, 37, 39-49.)。この問題はマグニチュード距離効果が生じるかどうかで検討される。マグニチュード距離効果とは、2数の大小判断課題において、比較する2数の値の差が大きいほど反応時間が短くなり、また正答率が上がるという現象である。この現象が確認されれば数覚が生起しているとみなされる。これまでの研究より、分数に対しても数覚が生起することが示されている。しかし、分数の数覚の存在が示されているだけで、分数の数覚の性質や特徴の記述など、それ以上の検討がそれほど進んでいないのが現状である。将来的に分数の数覚を向上させる教授法を開発するためには、分数の数覚がどのような性質や特徴を持っているのかを明らかにする必要がある。

一方で、分数が表現する値の大きさを把握する際の方略を記述するような研究もなされている。こういった研究では内観報告が用いられており、被験者から「直観的に値の大きさがわかる」「計算をする」などの様々な方略が報告されている(e.g., Fazio, et al., 2016, *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 42, 1-16.)。これらの報告は、分数の数覚について解明するためには、数覚に至るまでのプロセスにも着目する必要があることに気づかせてくれる。しかし一方で、内観報告を用いている点で、そのプロセスについて記述可能な側面が限定されているという問題がある。

2. 研究の目的

本研究では分数の数覚がどのような性質・特徴をしているのか記述することを目的としている。特に、分数の数覚に至るまでのプロセスでどのようなワーキングメモリ成分が寄与しているのかを明らかにすることを目的としていた。しかし、別の研究グループから2つの新たな論文が公刊された。まずは分数の数覚に至る過程でどのようなワーキングメモリ成分が寄与しているかを明らかにしたもので、本研究で予定していたものほとんど同じ研究であった(Hurst & Cordes, 2017. *J. Educ. Psychol.*, 109(5), 694-708.)。もう1つは、一部の親近度の高い分数(親近分数, 1/4, 1/3, 1/2, 2/3, 3/4)の数覚が、それ以外の分数の数覚の基準になっているということを示した論文であった(Liu, 2018, *Q J Exp Psychol.* 71(9), 1873-1886.)。この論文が報告していることは、一部の親近分数の数覚は直観的に導かれるような直接的プロセスをとっているのに対し、それ以外の分数は、値の類似した親近分数の値を参照することで数覚を発生させるという経路のプロセスをとっているということである。親近分数の数覚が他の分数の数覚の基準となっているのであれば、分数の数覚過程について理解するためには、親近分数の数覚過程を解明することが重要である。そこで、本研究ではこれらの先行研究に基づくことで、親近分数の数覚過程の性質・特徴を解明するという、当初よりもさらに発展的な問題を検討することを目的とした。まず、(1)親近分数の数覚そのものの精度が他の分数と異なるのかどうかを検討した。続いて、(2)親近分数とそれ以外の分数の間で寄与するワーキングメモリ成分に違いがあるのかどうかを検討した。

3. 研究の方法

数認知研究において、数覚を反映する従属変数として伝統的に用いられてきた2数の大小判断課題におけるマグニチュード距離効果と、ワーキングメモリ研究で用いられてきた二重課題法を採用した。

(1) 親近性の高い分数の数覚の正確性の検討

親近性の高い分数の数覚はそれ以外の分数よりも正確なのかどうかを検討するために、数覚研究パラダイムの伝統的課題である2数の大小判断課題を採用した。この課題では2つの分数が表示され、被験者はより大きな方の数をできるだけ早く、かつ正確にキー押しで選択することが求められた。このとき、比較する分数ペアの片方が、先行研究で親近性が高いとされてきた5つの分数(1/4, 1/3, 1/2, 2/3, 3/4)のうちのいずれかである5種類の親近分数試行を設けた。また、比較する分数ペアの片方が上記の5つの親近分数それぞれと値に近い非親近分数(例えば1/4に対応するのは2/9)のいずれかである5種類の非親近分数試行を設けた。これら10種類の分数ペア条件における、マグニチュード距離効果の大きさを測定した。マグニチュード距離効果は数覚が正確な場合において小さくなることが知られている(このことは従属変数をY軸、比較ペア内の2数の差をX軸にとったときの回帰直線の傾きの緩急に現れる)。したがって、数

覚が正確になる親近分数が含まれる分数ペアを用いた試行条件において、非親近分数を含む分数ペアを用いた試行条件よりも、マグニチュード距離効果が小さくなることが予想された。

(2) 親近分数とそれ以外の分数の数覚過程に寄与するワーキングメモリ成分の検討

次に、親近分数とそれ以外の分数の数覚過程に寄与するワーキングメモリ成分を明らかにするため、ワーキングメモリ研究の実験パラダイムの一手法である二重課題法を採用した。二重課題法とは、メイン課題の遂行の最中に特定のワーキングメモリ成分を必要とするサブ課題を同時遂行する実験パラダイムである。サブ課題によってメイン課題の遂行に寄与しているワーキングメモリ成分が利用できなければ、メイン課題のパフォーマンスに変化が見られるため、本来はメイン課題の遂行に寄与するワーキングメモリ成分を特定することができる。本研究では5種類の親近分数試行条件と5種類の非親近分数試行条件を設け、被験者に分数の大小判断課題を行っている最中にサブ課題を行ってもらった。サブ課題は視空間性ワーキングメモリの働きを奪うドット位置の保持課題、もしくは言語性ワーキングメモリの働きを奪う子音文字列の保持課題であった(図1)。

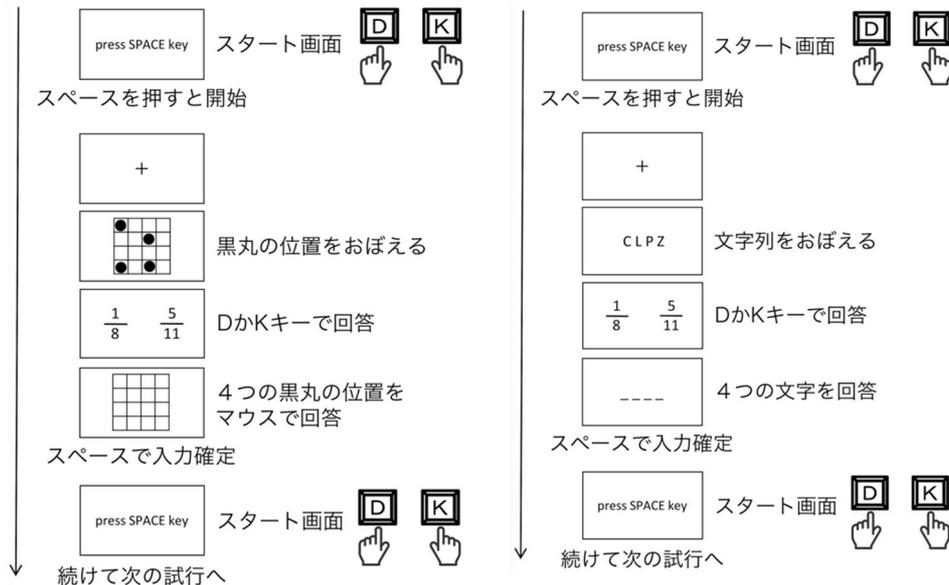


図1. 各ワーキングメモリ成分を妨害する課題(左図が視空間性ワーキングメモリ妨害条件、右図が言語性ワーキングメモリ妨害条件)

4. 研究成果

(1) 親近性の高い分数の数覚の正確性の検討

図2は反応時間におけるマグニチュード距離効果を、図3は正答率におけるマグニチュード距離効果を示している。反応時間においては、 $\frac{1}{4}$ を含む分数ペアにおいて、非親近分数を含む分数ペアよりもマグニチュード距離効果が有意に小さくなった。正答率においては、 $\frac{1}{3}$ または $\frac{1}{2}$ を含む分数ペアにおいて、非親近分数を含む分数ペアよりもマグニチュード距離効果が小さくなった。これらの結果から、すべての親近分数ではなく、 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{1}{2}$ の3種類の親近分数の数覚が非親近分数よりも正確であることが明らかとなった。この研究のように個々の分数の数覚の性質を記述しようとする研究は国際的にもまだ少なく、新規性が高い。

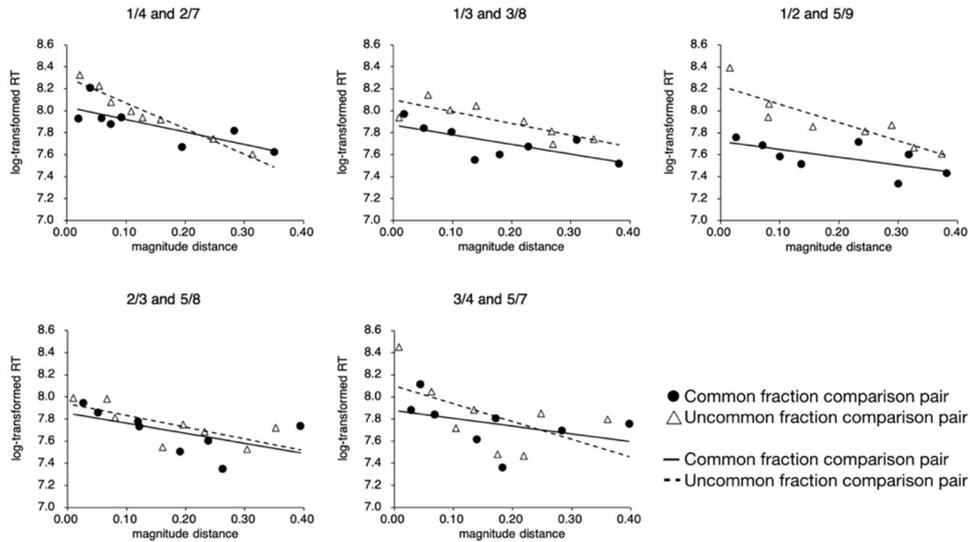


図 2. 各親近分数と非親近分数条件における反応時間

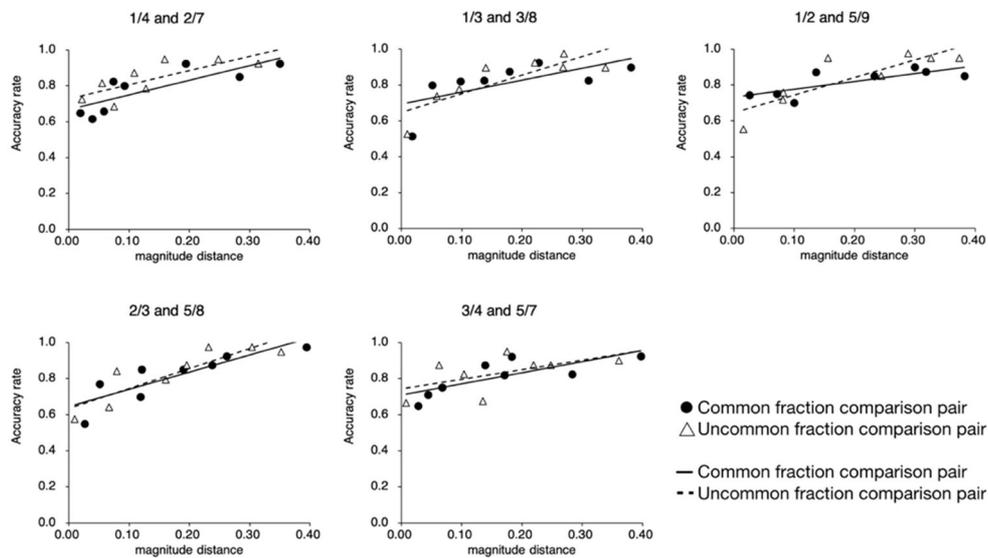


図 3. 各親近分数と非親近分数条件における正答率

(2) 親近分数とそれ以外の分数の数覚過程に寄与するワーキングメモリ成分の検討

各ワーキングメモリ成分の妨害条件および統制条件における、大小判断課題の反応時間を図 4 左図、正答率を図 4 右図に示す。反応時間においてはほとんどすべての条件において各種の妨害課題による反応時間の増大が見られた。しかし唯一の例外として、1/2 を含む分数ペアの比較と、1/2 に値の大きさが類似している 5/9 をペアに含む分数ペアの比較では、視空間性ワーキングメモリの妨害課題による妨害効果が見られなかった。この結果から、おおよそ「半分」に相当する値を示す分数との比較をする数覚過程については、視空間性ワーキングメモリへの依存度が低い可能性が示された。次に正答率において、親近分数である 3/4 を含む分数ペアの比較は非親近分数を含む分数ペアの比較よりも視空間性ワーキングメモリの妨害による正答率の低下の程度が小さかった。この結果から、親近分数である 3/4 の数覚過程は非親近分数よりも視空間性ワーキングメモリへの依存度が低い可能性が示された。

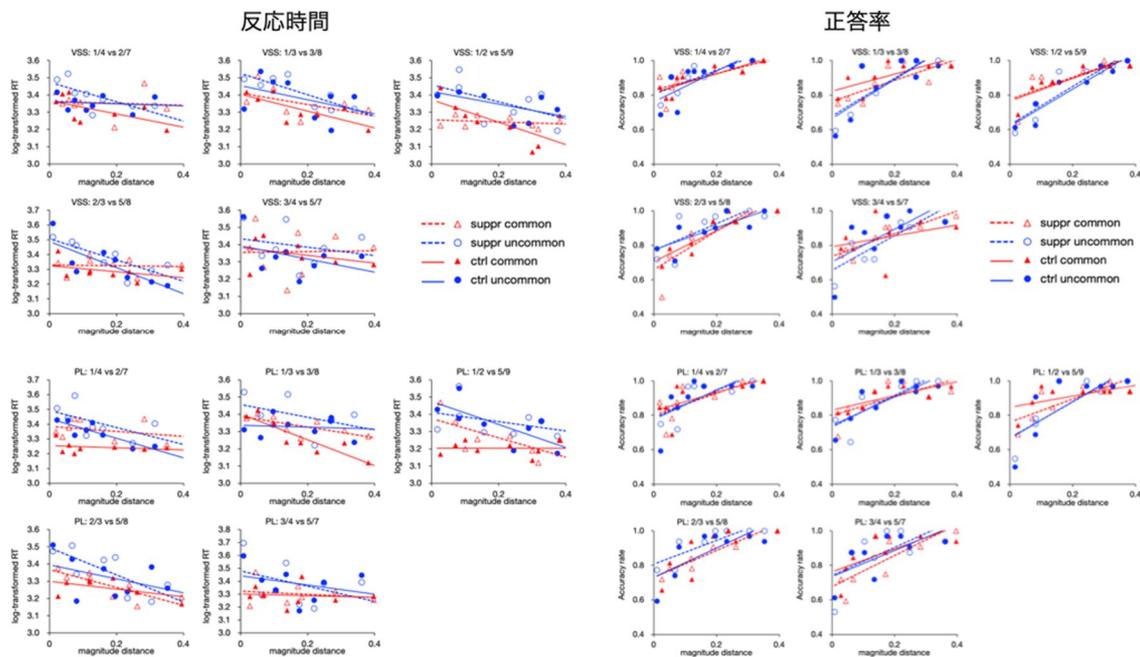


図4. 各ワーキングメモリ成分の妨害・統制条件の下での各親近分数と非親近分数条件における反応時間と正答率（VSSは視空間性ワーキングメモリの妨害・統制条件、PLは言語性ワーキングメモリの妨害・統制条件を示している）

ただし、解釈することが容易ではない結果も得られた。反応時間の測度において、親近分数である 1/4 を含む分数ペアでは、親近分数を含まない分数ペアよりも言語性ワーキングメモリを妨害されたときの妨害効果が大きいことが示された。また正答率の測度において、親近分数である 1/2 を含む分数ペアでは、非親近分数を含む分数ペアよりも、言語性ワーキングメモリを妨害されたときのマグニチュード距離効果の増大の程度が大きかった。これらは親近分数を含む比較試行の方が親近分数を含まない比較試行よりも数覚過程における言語性ワーキングメモリへの依存度が高いことを示す現象である。言語性ワーキングメモリは計算プロセスに寄与することが知られているため、非親近分数よりも直観的に数覚を生起させると考えられる親近分数を含む比較試行では、本来依存度が低くなるはずである。このような複雑な結果が得られた理由として、妨害課題を値の大小の判断課題とともに行ったため、予測していたよりもより複雑な心的プロセスが刺激・喚起されていた可能性が考えられる。というのも、元来、二重課題法はメイン課題を記憶課題とする実験で用いられてきたからだ。そのため、今後は記憶パラダイムとともに二重課題法を用いる実験が必要だと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Tanida, Y., & Okamoto, M.
2. 発表標題 Numerical Distance Effect on Fraction Comparison Involving Common Fractions: Which Common Fractions Have More Precise Magnitude Representations Than Uncommon Fractions?.
3. 学会等名 International Convention of Psychological Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tanida, Y., Kumamoto, A., & Okamoto, M
2. 発表標題 Working memory components underpinning the magnitude representation of common fractions in Japanese university students
3. 学会等名 21st Conference of the European Society for Cognitive Psychology (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	岡本 真彦 (Okamoto Masahiko)		