

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 24 日現在

機関番号：32707

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03485

研究課題名（和文）数量認知の進化的起源

研究課題名（英文）Evolutionary origin of numerical cognition

研究代表者

後藤 和宏（Goto, Kazuhiro）

相模女子大学・人間社会学部・教授

研究者番号：20546725

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、マウスにおける数的認知の2つの側面を調べるために一連の実験を行った。まず、数量を空間的配置（例えば、小さいのを左、大きいのを右）に対応づけるメンタルナンバーラインを検討した。被験体ごとでは、数量の大きさを左右の空間配置に対応づける傾向がある程度一貫して見られたが、被験体間で一致してはいなかった。次に、アンサンブル知覚を検討した。アンサンブル知覚では、マウスが複数の物体を同時に知覚し、「平均値」などの要約統計量を弁別手がかりにするか検討した。マウスは要約統計量に基づいて刺激を弁別することができた。しかし、要約統計量以外の説明可能性も残っており、それらを排除することが今後の課題である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

メンタルナンバーラインやアンサンブル知覚は、動物種を問わず報告例が極めて少ない。げっ歯類は汎用的な実験動物でありながら、このテーマに関して視覚刺激を用いた研究がなかったため、種間比較という観点でも得られる知見が重要である。また、汎用的な実験動物であるがゆえに、方法論的問題について考察するうえでも重要である。それらの重要性に加え、遺伝子組換え、光遺伝子操作などの神経科学の様々な機能計測ツールを用いた研究展開が可能なマウスを対象に研究を進めることで、将来的には神経基盤の研究まで含めた展開を視野に入れることが期待できる。

研究成果の概要（英文）： In the present study, we conducted a series of experiments to investigate two aspects of numerical cognition in mice. First, we examined mental number lines that map the quantities to spatial arrangements (e.g., small quantities to the left and large quantities to the right). Although each subject tended to map the size of the quantity to the left or right with some consistency, there was no agreement across subjects. Second, we examined ensemble perception. In ensemble perception, multiple objects are perceived simultaneously and evaluated using summary statistics such as "average" as a cue. Although mice were able to discriminate stimuli based on summary statistics, all possible explanations other than summary statistics remain to be ruled out.

研究分野：比較認知科学

キーワード：げっ歯類 マウス 相対的数量弁別 メンタルナンバーライン

1. 研究開始当初の背景

動物における数量認知は、20世紀初頭の計算ができる馬ハンスの例に見られるように人々が関心を持つテーマであり、その研究の歴史は古い(なお、ハンスは、計算ができるわけではなく、観察者の反応を手がかりに解答していたこともよく知られている)。相対的数量弁別課題が考案されたことで様々な動物種での検討が可能になり、霊長類に加え、それ以外の哺乳類、鳥類、爬虫類、昆虫などでも数量の大小判断ができることが明らかになり、広い動物種に共通する能力であると考えられている(Agrillo & Beran, 2013, *Front. Psychol.*)。

動物における数量認知に関する先行研究を精査すると、比較研究による検討が十分でない問題、動物種によって知見が異なる問題は、大きく二つのテーマに集約できる。第一のテーマは、数量の大小と空間配置の対応づけの問題である。ヒトが数量の大小判断をするとき、提示された数が小さいときには左側のキー、大きいときには右側のキーによる反応が早くなることが知られている。これは、数量の大小を空間配置(小さい量を左、大きい量を右)と対応づけるメンタルナンバーラインを参照するためだと考えられている。近年、ヒヨコがヒト同様のメンタルナンバーラインを有することが報告された(Rugani et al., 2015, *Science*)。Rugani et al.は、実験箱内中央に設置した「5」(ドットの数量で示す)への接近を訓練した後、左右ともに「2」あるいは「8」を設置した場合、それらへの接近行動に左右の偏りが生じるか調べた。結果、「2」の場合には左側を、「8」の場合の場合には右側を選択したことからメンタルナンバーラインを有していると解釈した。一方、ホンソメワケベラ(Triki & Bshary, 2017, *Anim. Cogn.*)やアカゲザルとフサオマキザル(Beran et al., 2019, *J. Comp. Psychol.*)では、この実験事態を模した手続きを用いて、これらの動物がメンタルナンバーラインを有するか検討されたが、ヒヨコのように数の大小を空間配置と結びつけていることを示す結果は得られなかった。しかし、霊長類では、複数の異なる手続きで、メンタルナンバーラインを有するという結果が得られている(Adachi, 2015, *PLOS ONE*; Drucker & Brannon, 2014, *Cognition*; Gazes et al., 2017, *Cognition*)。現状では、動物種による違いと課題手続きによる違いを切り分けることができず、どの分類群の動物種がメンタルナンバーラインを有するかは定かではなく、その進化的起源を考察することが困難である。

第二のテーマは、複数の物体を同時に捉え、平均値などの要約統計量を把握するアンサンブル知覚の問題である。数量の大小判断に関する比較研究の多くは、10数個程度までの数量を問題とすることが多い。それより大きな数量を瞬時に認識するのがアンサンブル知覚である。複数の物体の集合について考えるとき、その集合における大きさや向き、明るさなどの視覚的情報をもとに、それらの平均を瞬時に捉えられる(Whitney, 2018, *Annu. Rev. Psychol.*)。アンサンブル知覚に関する比較研究は、チンパンジーが大きさの平均を知覚すること示した一例のみであり(Imura et al., 2017, *Proceeding B.*)、まずは相同の視覚経路を持つ哺乳類で共通したアンサンブル知覚が見られるかを検討する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、汎用性の高い実験動物であるマウス(C57BL/6 系統)を研究対象に、数量認知について2つの方向性での検討を進めた。まず、視覚刺激を用いた相対的数量弁別課題を実施し、マウスでも、他の動物種における知見を追試できるか検討した。そのうえで、Rugani et al.の手続きを模して、左右に同数の数量を提示したテスト試行で、数量の大きさによって左右の選択の割合が影響を受けるかを調べることでメンタルナンバーラインについて検討した。

アンサンブル知覚について、提示する刺激が1つのとき、同じ大きさの刺激が複数のとき、大きさが異なる刺激が複数のときの3条件で、マウスが面積の大きさの平均が多いほうを選択できるかを検討した。

3. 研究の方法

実験は、タッチモニターをとりつけたオペラント箱を用いて実施した。相対的数量弁別課題では、図1に示したように、各試行は背面パネルへの頭部挿入で開始された。試行開始後、モニターに左右に2つ刺激が同時に呈示され、正反応が餌報酬で強化された。一方、誤反応は5秒のタイムアウトで弱体化された。当初の実験では、数量の大きいものを選択することを正反応とした(後の実験では、数量の小さいものを選択することを正反応として訓練した個体もいた)。弁別が獲得された後、未訓練の数量に対して般化を検討してから、数量が等しい刺激を2つ呈示するメンタルナンバーラインテストを実施した。

アンサンブル弁別課題では、相対的数量弁別同様、複数の円の平均面積の相対的な大きさを弁別するように訓練した。呈示する刺激が1つのとき(図2, *single*)、同じ大きさの刺激が複数のとき(図2, *homogeneous*)、大きさが異なる刺激が複数のとき(図2, *heterogeneous*)の3条件で、マウスが面積の大きさの平均が多いほうを選択できるかを検討した。

図 1. 相対的数量弁別の手続き

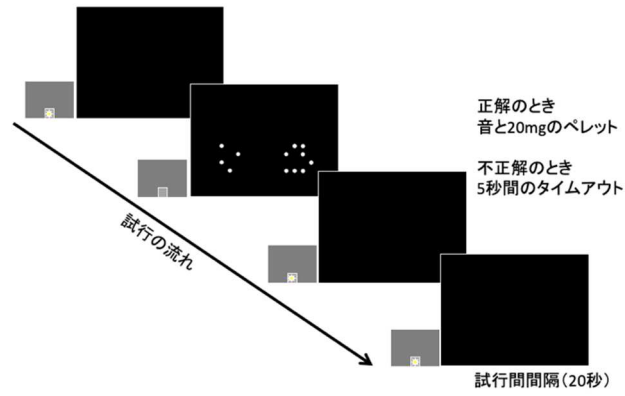
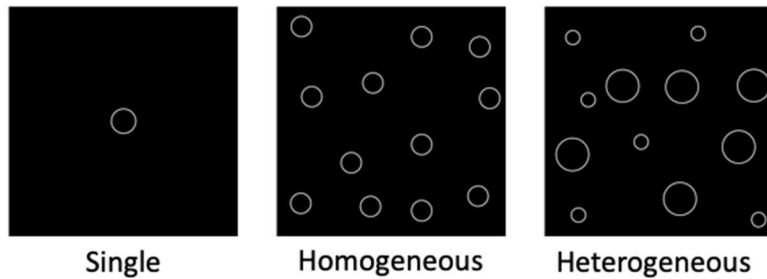


図 2. アンサンブル弁別の刺激例



4. 研究成果

最初の実験では、6 個体のマウスに 8 個と 4 個の数量の弁別を訓練した。5 個体は 20 セッション以内に弁別を学習した(図 3)。残り 1 個体は位置偏好が強かったため、矯正試行手続きを用いて位置偏好を弱めながら訓練を継続したところ、30 セッションの追加訓練により、弁別を学習した。後の実験では、8 個と 4 個の弁別ではなく、訓練初期から様々な数量の相対的な大小の弁別を訓練するとともに、数量の小さい方を選択することを正反応とした。この場合も、相対的な数量弁別は学習されたが、数量の大きなものを選択することを正反応とする場合よりも、小さいものを選択することを正反応とする場合のほうが弁別の学習がかなり遅れた。

図 3. 数量弁別の学習

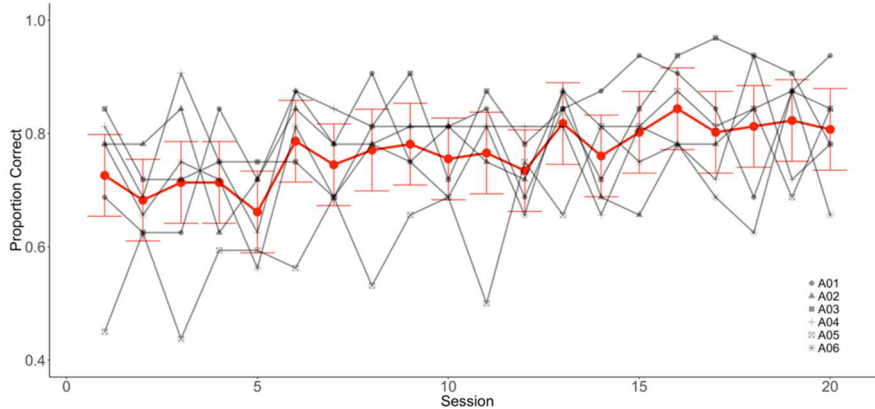
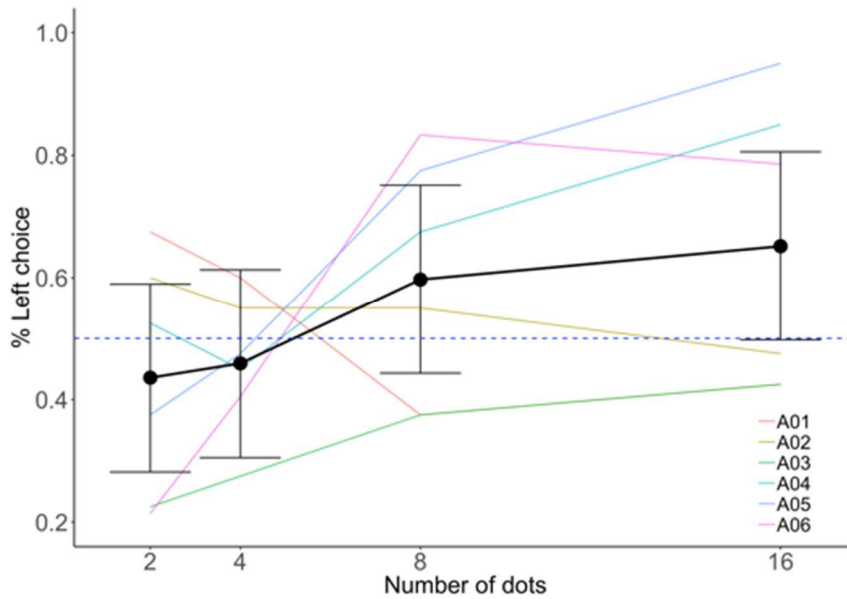


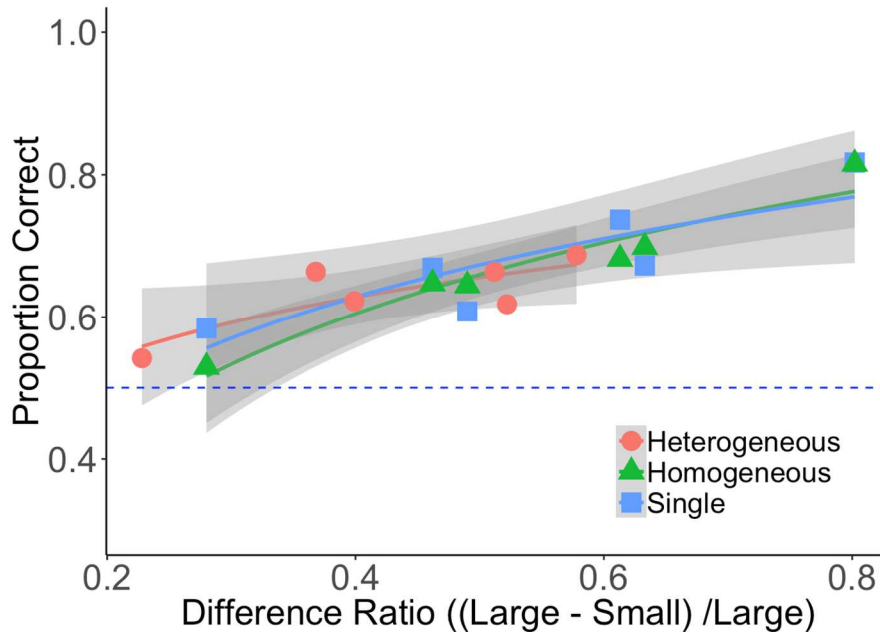
図 4 にメンタルナンバーラインテストの結果を示す。テスト試行では、左右に同数のドットが呈示されたにもかかわらず、4 個体はドットの数量が小さい場合には右、大きい場合には左を選択した。2 個体はその逆の傾向を示した。しかし、被験体間では一貫した傾向が見られず、少なくともこの結果からだけでは、マウスがヒト同様メンタルナンバーラインを持つとは結論できなかった。

図 4. メンタルナンバーライン・テストにおける数量と左選択率の関係



アンサンブル弁別では、先の相対的数量弁別同様、弁別を学習することができた。図 5 に刺激対間の円の平均面積の違いと正答率の関係を示す。図 2 に示した 3 つの実験条件のどの条件でも、平均面積の差が大きくなるほど正答率が高く、それらの近似曲線はおおよそ重なった。しかし、この弁別には平均面積以外の複数の手がかりを利用している可能性が考えられるため、解釈には慎重さが求められる。

図5.3つの実験条件における円の平均面積の差と弁別正答率



相対的数量やアンサンブル弁別の結果、視覚刺激にかんするマウスの数量認知は、先行研究で報告されている他の動物種と同様のしくみで行われていると考えられる。メンタルナンバーラインについては、被験体間で一貫した結果が得られなかった点も含め、近年報告されているホンソメワケベラやアカゲザル、フサオマキザルなどの結果と一致している。しかし、他の手法を用いた実験の結果とあわせ、総合的に考察すると、本研究で用いられたメンタルナンバーラインテストは、動物がメンタルナンバーラインを持つか検討するためのテストとしては妥当性が低いのかもしれない。方法論の妥当性については、今後さらなる検討が必要である。本研究の成果は、今後、数量認知の比較研究を進めるうえで、重要な知見が数多く得られており、今後、順次、成果を学術誌に報告予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kazuhiro Goto, Hikari Watanabe	4. 巻 47(3)
2. 論文標題 Mice (Mus musculus) do not perceive emergent Gestalt	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition	6. 最初と最後の頁 274-280
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1037/xan0000291	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Brooks Daniel I., Cook Robert G., Goto Kazuhiro	4. 巻 25
2. 論文標題 Perceptual grouping and detection of trial-unique emergent structures by pigeons	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Animal Cognition	6. 最初と最後の頁 717-729
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10071-021-01586-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 後藤和宏	4. 巻 34(4)
2. 論文標題 マウスにおける視覚研究：ゲシュタルト知覚をめぐる展開	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 VISION	6. 最初と最後の頁 98-104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24636/vision.34.4_98	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 後藤和宏	4. 巻 65(3)
2. 論文標題 ネコの社会的認知研究に対する期待 高木論文に対するコメント	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 心理学評論	6. 最初と最後の頁 314-316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Kazuhiro Goto, Miku Kimura
2. 発表標題 Further analysis of the SNARC effect following the extensive discrimination training of relative numerosity in mice
3. 学会等名 日本動物心理学会 第80回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuya Hataji, Kazuhiro Goto
2. 発表標題 Mice primarily use plaid orientation but not motion cues in a visual motion discrimination task
3. 学会等名 日本動物心理学会 第80回大会
4. 発表年 2020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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
米国	Tufts University		