

平成 22 年 5 月 21 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19530649

研究課題名（和文） カウンティング課題を用いた計数行動に関する比較心理学的研究

研究課題名（英文） A comparative study of number discrimination in a counting task

研究代表者 實森 正子（JITSUMORI MASAKO）

千葉大学・文学部・教授

研究者番号：80127662

研究成果の概要（和文）：呈示されているドット全てに1回ずつ反応することが要求されるカウンティング課題を用いて、1, 3, 5, 8個のドットからなるドットパターンの弁別をハトに訓練した。ハトはカウンティング課題を学習し、2, 4, 6, 7個のドットからなる新しいパターンに数の系列に一致する形で弁別が転移した。その後のテストによって、ハトはカウンティング反応の回数によってドットパターンを弁別し、各試行で記憶されたドットの数は時間経過とともに減少することが示された。

研究成果の概要（英文）：Pigeons were trained to discriminate arrays consisting of 1, 3, 5, or 8 dots in a counting task which required them to peck each dot sequentially. They successfully learned the task and then displayed transfer to novel arrays consisting of 2, 4, 6, or 7 dots, in a manner according to the numerical order. Subsequent tests revealed that the pigeons discriminated the stimuli by relying on the number of counting responses and that the number of dots in memory gradually decayed as the passage of time on each trial.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4550,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：学習・行動分析, 比較心理学, 比較認知科学

1. 研究開始当初の背景

ヒトを含む多くの動物にとって、外界にある個々の対象が何であるかを同定する物体認識のみならず、対象の数についての情報処理は、環境適応に重要な役割を果たしていると考えられる。例えば、採餌場面で、より多くの餌がある餌場を選択できれば(相対的数の弁別)、効率的に餌を採ることができる。また、捕食者の数を即座に把握して適切に行動するなど、対象の絶対的な数を瞬時に把握すること(subitizing)も、動物が生存するための適応価が高い能力と言えよう。しかし、瞬時に把握できる範囲以上の数を数えたり、「1の次は2、2の次は3」といった数の系列に関する処理は、自然場面に生息する多くの動物の生存にとって重要であるとは考えにくい。対象の絶対的な数を数えるために必要だと考えられる基数的処理(cardinality)や序数的処理(ordinality)は、ヒトに特有な認知能力なのかという疑問に答えるために、動物を用いた多くの実験室的研究が行われた。

基数的処理や序数的処理に基づく数の計測(counting)は、人工言語を習得したヨウム(Pepperberg, 1994)やチンパンジー(Matsuzawa, 1985)に可能なことはよく知られている。一方、ハトやサルなどの動物では、「より多い」や「より少ない」といった相対的な数を弁別できるという報告はこれまでも多くあるが(例えば, Emmerton, 1998), 絶対的な数の計測についての研究は、ハトが1, 2, 3, 4, 5個の対象を弁別できることを示した Xia, Emmerton, Siemann, and Delius (2001)の他にはない。

2. 研究の目的

子供がコインを1つ1つ数える時のように、ヒトは「1, 2, 3, ...」と数えながら、数えた対象をまだ数えていない対象からより分ける行動を示すことがよくある。これは、対象と1対1対応する数のタグづけを行うために必要な「より分け」行動(partitioning)であり、最後のタグが物体の個数をあらわす基数になる。本研究では、数えた対象をまだ数えていない対象からより分けるカウンティング課題をハトに用いて、絶対的な数の認知に関する組織的な検討を行う。

実験1では、1, 3, 5, 8個の対象を弁別する学習が、数の系列に一致する形で新奇な数2, 4, 6, 7に転移するか否かを明らかにし、本研究で用いるカウンティング課題の有効性について検討する。実験2～実験4では、対象の数と共変する非数量的要因(対象の総面積、時間など)の手がかり性について分析

する。主として序数的処理に関わる実験1～4に対して、実験5はタグづけと関連づけながら数の記憶過程について検討する。

3. 研究の方法

本研究で開発したカウンティング課題では、試行開始と同時にモニタ上の一定の領域内(6 cm × 6 cm)のランダムな位置に1, 3, 5, または8個のドット(直径0.5 mm)を呈示した。それぞれのドットに反応すると、当該のドットの色が白から赤に変化し、カウンティングしたドット(赤ドット)とまだカウンティングしていないドット(白ドット)を区別できた。すべてのドットが赤に変化した後、4種の比較刺激を呈示した。各ドットを白から赤に変化した反応を1回のカウンティング反応と定義し、総カウンティング反応数(つまり、ドットの数)に対応する比較刺激を選択する訓練(4選択肢—強制選択法)を行った。なお、1, 3, 5, 8に対応する比較刺激として、緑, 紫, 青, 黄色の円(直径1.5 cm)をモニタ上の4隅に呈示し、正しい選択反応に対する報酬として混合飼料が与えられた。

実験1～4では、カウンティング課題を用いた実験歴がない80～85%に体重統制した4羽のハトを用いた。実験5では、同様の他4羽のハトを用いた。

4. 研究成果

実験1：訓練は平均正答率70%以上、すべてのドット数で50%以上の正答が得られるまで続けられた(チャンス・レベルは25%)。図1左は、訓練最終段階の選択反応の分布、右は訓練に用いなかったドット数を呈示したテスト試行での選択反応の分布である。1, 3, 5, 8個のドットを用いたカウンティング課題における弁別訓練は、数の系列

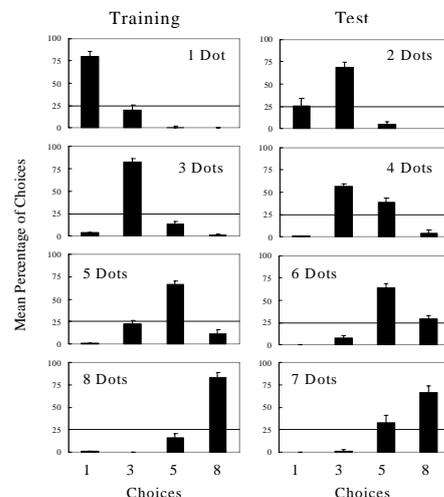


図1. 左：訓練最終段階における選択率。右：テスト刺激に対する選択率。

1<2<3<4<5<6<7<8 と一致する形で2, 4, 6, 7個のドットに転移した。

この結果から、本研究で開発したカウンティング課題の有効性が確認され、ハトが1~8個のドットからなる刺激パターンを、数の系列的順序に従って弁別できることが示された。

実験2：実験1で示された弁別が、比較刺激選択時に呈示されている赤ドットの数（または赤い面積や平均輝度）を手がかりとして行われたのか否かを検討した。少数のプロープ試行で、予め定められたいくつかの白ドットにカウンティング反応をすると、そのドットが消失するようにした。例えば図2下段(White 8)に示すように、8個の白ドットすべてに反応し終わる、比較刺激が呈示されて選択反応が求められる時には、1, 3, 5, または8個の赤いドットが呈示されている(Red 1, Red 3, Red 5, Red 8)テスト試行で、カウンティング回数と赤いドット数のどちらに一致する選択反応が起きるかを見た。同様に、5個の白ドットが呈示された試行(White 5)では、比較刺激選択時点に1, 3, または5個の赤ドットが残り、3個の白ドットが呈示された試行(White 3)では、1または3個の赤ドットが残った。例えばWhite5-Red3のテスト試行では、5個の白ドット中の2個がカウンティング反応と同時に消失し、比較刺激選択時点に3個の赤ドットだけが残るようにした。

図2に示すように、White 5およびWhite 8のテスト試行では、比較刺激が呈示されて選択反応が求められる時点まで残っている赤ドット数が減少すると、選択反応に明らかな過少評価がみとめられた。なお、図中の数字はカウンティング回数に一致する選択反応率である(Nは試行数)。

Cramer (1999)のV値は、赤ドット数で0.116~0.267**, 白ドット数で0.473**~0.589**であり(** $p < .01$)、白ドット数に一致するカウンティング回数の手がかりが優位なもの、赤ドット数も選択反応の手がかりになっていたことが確認された。

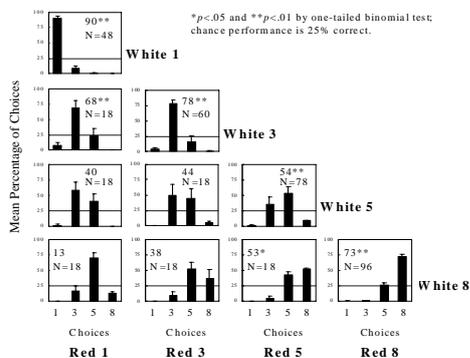


図2. 実験2テスト試行における選択反応の分布。

そこで、テスト試行と同様な試行で、カウンティング回数（あるいは白ドット数）に一致する選択だけを正反応とする訓練を行った。図3に示すように、訓練後のテスト試行での選択反応に訓練効果がみとめられ、CramerのV値は、赤ドット数で0.035~0.076に減少し、白ドット数で0.556**~0.742**に増加した。この結果から、カウンティング回数（あるいは白ドット数）を手がかりとし、赤ドット数やそれと共変する要因を手がかりとしない弁別が形成されたことが確かめられた。

実験3：試行開始時に呈示された白ドット数

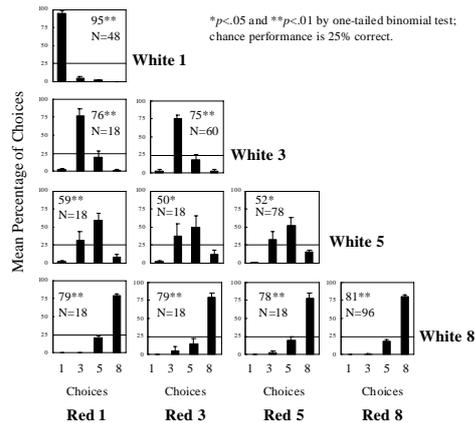


図3. 実験2訓練後のテスト試行における選択反応の分布。

(または白い面積や平均輝度)とカウンティング回数のどちらを手がかりとして選択反応が起きていたのかを検討した。少数のテスト試行で、試行開始時点で呈示される白ドットからなる刺激パターンと同時に比較刺激を呈示した。各白ドットへのカウンティング反応は無効とし、反応してもドットの色が赤に変化しなかった。テスト試行での選択反応の90%以上はChoice 1(ドット数1)に対応する比較刺激に生じ、ドット数に従った選択反応が崩壊した。テスト試行でChoice 1に選択が集中した理由として、Choice 1の比較刺激が報酬と最も強く結びついていた可能性などが考えられたが、試行開始時に呈示される白ドット数やそれと共変する刺激要因が手がかりになっていなかったことが確かめられた。

実験4：実験2と3によって、ハトはカウンティング回数を選択反応の手がかりとして用いることが確認された。しかし、カウンティング回数はカウンティングに要した時間と共変関係にある。そこで、少数のプロープ試行で、予め定められたいくつかの白ドットを赤に変化するために要する突き反応数を操作した。例えば図4の最上段に示されるように、白ドットが1の試行で1回のカウンティング反応に要する突き反応数を1, 3,

5, と 8 に変化した (Rsp1, Rsp3, Rsp5, Rsp8)。同様に, 白ドット数が 3 の試行ではすべてのドットをカウンティングするために要する突き反応数を 3, 5 と 8 に変化し, 白ドット数が 5 の試行では 5 と 8 に変化した。例えば 3 Dots-Rsp 5 のテスト試行では, 3 個のドットをカウンティングするために合計 5 回の突き反応が求められた (1+1+3 または 1+2+2)。

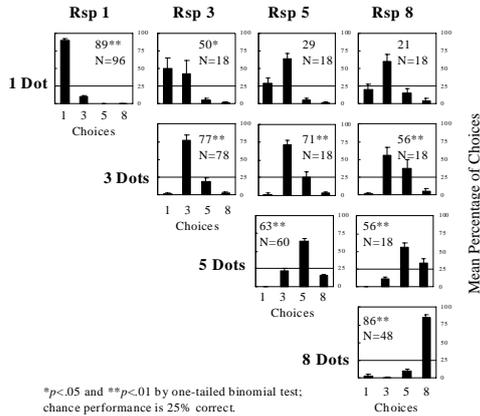


図 4. 実験 4 テスト試行における選択反応の分布。

図 4 に示すように, 要求される総突き反応数が増えてカウンティングに要する時間も増えると, 選択反応に明らかな過大評価がみとめられた。Cramer の V 値は, 総突き反応数で 0.129~0.363**, カウンティング回数で 0.507**~0.613** であり, カウンティング回数の手がかりが優位なものの, 総突き反応数と一致するカウンティングに要する時間も選択反応の手がかりになっていたことが確認された。

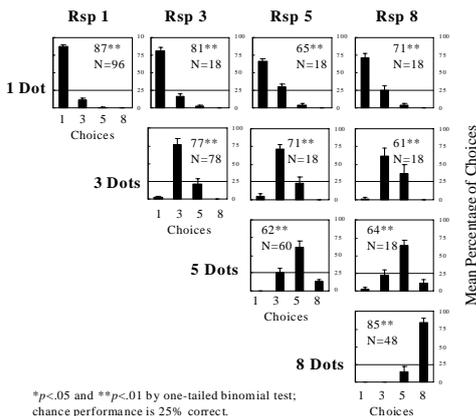


図 5. 実験 4 訓練後のテスト試行における選択反応の分布。

そこで, テスト試行と同様な試行で, カウンティング回数に一致する選択だけを正反応とする訓練を行った。図 5 に示すように, 訓練後のテスト試行での選択反応に訓練効果がみとめられ, Cramer の V 値は, 総突き回

数で 0.129**~0.151 に減少し, カウンティング回数で 0.608**~0.815** に増加した。明らかな訓練効果はみとめられたものの, 特にドット数 1 の刺激パターンで, 総突き回数またはカウンティングに要する時間が依然として手がかりになっていたことが示された。

実験 5 : 実験 1~4 では, 比較刺激が呈示されて選択反応が求められる時点で, カウンティング反応によって白から赤に変化したドットも呈示されていた。数の記憶過程を分析する本実験では, 最後のドットのカウンティングが終了したと同時にすべてのドットを画面から消し, その 1 秒後に比較刺激を呈示して, カウンティング数に対応する比較刺激を選択する訓練を行った (遅延時間 1 秒の短期記憶課題)。また, 実験 1~4 では, 1, 3, 5, 8 に対応する 4 色の比較刺激のそれぞれが刺激画面の 4 隅の一定位置に呈示されていたが, 定位反応が記憶を仲介する可能性を排除するために, 本実験では 4 種の比較刺激の位置を毎試行ランダムに決定した。

実験 1~4 で用いなかった新しい 4 羽のハトの訓練が完成した後, 遅延時間を 1 秒から 8 秒までの数段階に変化して記憶テストを行った。遅延時間中にハトが選択すべき比較刺激を予期的に保持しているのであれば (prospective coding), 遅延後の誤反応の分布に遅延時間による変化が見られず, どの遅延時間でも誤反応がほぼ均一に分布することが予想された。一方, カウンティングした回数をそのままの形で保持しているのであれば (retrospective coding), 遅延時間が短いほど正しい数に近い誤反応が生じ, 遅延時間が長くなるとほぼ均一に誤反応が分布することが予想された。

遅延時間を延長したテスト試行の結果は後者を支持し, 例えばドット数が 8 の刺激では, 遅延時間が長くなるに従って Choice 5, Choice 3, Choice 1 の誤反応が増加し, 最終的には Choice 1 の誤反応だけが顕著に出現した。また, ドット数 5 では, 過大評価による Choice 8 の誤反応より過少評価による Choice 3 への誤反応が多くなる傾向がみとめられた。この結果に見られる誤反応の非対称性は, 時間とともに記憶している数が減少していく記憶の減衰過程を示唆した。

総合的考察 : 本研究の一連の実験では, 人工言語のような“特別な訓練”を受けていない動物 (ハト) が, 絶対的な数を計測できるかについて検討された。これらの実験で用いられたカウンティング課題で, ハトは同時に呈示されたドット一つずつに対して反応することが求められ, すでに反応したドット

とまだ反応していないドットの振り分け (partitioning) がドットの色によって可能だった。すなわち、ドットの色を白から赤に変化するカウンティング反応は個々のドットに対して1回だけ許され、かつ全てのドットに対して洩れなく継時的に反応することが求められた。

こうした課題のもとで、ハトは1, 3, 5, 8を弁別することができ、その弁別は新奇な数2, 4, 6, 7に数の系列に一致する形で転移した(実験1)。本研究によって、振り分けを可能にするカウンティング課題を用いると、ハトのような動物でも絶対的な数の系列順序を学習できることが初めて明らかにされた(本研究以前の知見については Emmerton, 2001, を参照)。しかし、ハトはカウンティング反応の回数だけではなく、それと共変する対象の総面積(実験3)やカウンティングに要する時間あるいは総突き回数(実験4)も手がかりにしていたことが示された。対象の数と共変するそれらの要因を手がかりに用いないことを求める訓練によって、対象の総面積は手がかりから除外されたが、カウンティングに要する時間あるいは総突き回数は、そうした訓練にもかかわらず手がかりとして用いられる傾向がみとめられた。これまでの多くの研究(Meck & Church, 1983, など)で、ハトなどの動物が数と時間を同時に処理する傾向が強いことが知られているが、本研究ではカウンティング反応(個々のドットを白から赤に変化する反応)と個々のドットに注目する反応(indicating response)がいずれも突き反応だったことが、総突き回数を手がかりから排除することを困難にしたとも考えられる。

実験5では、カウンティング課題で短期記憶テストを用いて基数的処理について検討した。訓練に用いたドット数は4色の比較刺激に対応していたが、数えたドットが1→3→5→8と増加するに従って数の内的表象が緑→紫→青→黄と変化し、最後のドットを数え終わったときの内的表象に基づいて比較刺激への選択反応が起きるかが検討された。この仮説では、ハトは遅延時間中に選択すべき色を保持していることになるが、そうした予期的符号化(prospective coding)は生じなかった。この結果は、数を表象する言語をもつヒトとは異なり、ハトのような動物では数の基数的処理が行われないことを示唆するものであった。

引用文献

Emmerton, J. (1998). Numerosity differences and effects of stimulus density on pigeons' discrimination performance. *Animal Learning &*

Behavior, 26, 243-256.

Emmerton, J. (2001). Birds' judgments of number and quantity. In R. G. Cook (Ed.), *Avian visual cognition*. Available at www.pigeon.psy.tufts.edu/ave/emmerton/default.htm.

Matsuzawa, T. (1985). Use of numbers by a chimpanzee. *Nature*, 315, 57-59.

Meck, W. H., & Church, R. M. (1983). A mode control model of counting and timing processes. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 9, 320-334.

Pepperberg, I. M. (1994). Numerical competence in an African Grey parrot (*Psittacus erithacus*). *Journal of Comparative Psychology*, 108, 36-44.

Xia, L., Emmerton, J., Siemann, M., & Delius, J. D. (2001). Pigeons (*Columba livia*) learn to link numerosities with symbols. *Journal of Comparative Psychology*, 115, 83-91.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① Hirai, S., & Jitsumori, M. (2009). Counting absolute number of items, from 1 to 8, in pigeons. *Learning & Behavior*, 査読有, 2009, 37(4), 365-379.

[学会発表] (計3件)

① 平井慎・生谷智一・実森正子. カウンティング課題におけるハトの弁別法略の検討. 日本動物心理学会第67回大会, 2007年10月, 早稲田大学戸山キャンパス.

② Shin, Hirai., & Masako Jitsumori. A systematic analysis of counting behavior in pigeons. 15th International Conference on Comparative Cognition, 2008年3月, Radisson Hotel, Melbourne, Florida, USA.

③ 平井慎・実森正子. カウンティング課題を用いたハトにおける数量の弁別. 日本基礎心理学会第27回大会, 2008年12月, 仙台国際センター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

実森 正子 (JITSUMORI MASAKO)
千葉大学・文学部・教授
研究者番号: 80127662

(2) 研究分担者

生谷 智一 (USHITANI TOMOKAZU)
千葉大学・文学部・准教授

研究者番号：20400806
(H20→H21：連携研究者)