

廊下式および高架式T型迷路における ラットの遅延非見本合わせ反応

筑波大学大学院 (博) 心理学研究科 古川 聡

筑波大学心理学系 岩崎 庸男

Delayed non-matching to sample responses in enclosed and elevated T-mazes in rats.

Satoshi Furukawa and Tsuneo Iwasaki (*Institute of Psychology, University of Tsukuba, Tsukuba 305, Japan*)

This study was designed to compare the choice performances of rats in delayed non-matching to sample task in the enclosed T-maze and those in the elevated T-maze. Following completion of the preliminary training under 5-sec delay to acquisition criterion of at least 8 correct choices out of 10 trials for 5 consecutive days, subjects were tested for choice performance 10 trials a day under identical delay time, which was successively increased from 10-sec to 2400-sec at a rate of twice every third day. It was found that the mean number of correct choices gradually decreased as the delay time increased, although it was significantly larger than the random level (50%) even under 2400-sec delay in the both T-mazes. Further, the number of correct choices was significantly larger in the enclosed T-maze than in the elevated one. These results suggest that proprioceptive and/or kinesthetic stimuli are utilized as an important cue for performing the task in the enclosed T-maze, and the performance is interfered with by visual extra-maze cues in the elevated T-maze. Key words: delayed non-matching to sample, enclosed T-maze, elevated T-maze, working memory, rats.

ラットの作業記憶研究において、近年、T型迷路による遅延見本合わせ (delayed matching to sample) および遅延非見本合わせ (delayed non-matching to sample) を用いた研究に関心が向けられている (古川・岩崎, 1988)。この課題の1試行は、見本走行 (information-run) と選択走行 (choice-run) からなる。見本走行では、T型迷路の左右いずれか一方の目標箱にのみ入ることができ、そこで報酬を与える。その後遅延時間を置いて選択走行に移る。ここではラットは左右いずれの目標箱にも入ることができるが、見本走行で報酬を得た側と同じ側を選択することを正選択とするのが遅延見本合わせ、一方、見本走行と反対側を選択することを正選択とするのが遅延非見本合わせである。したがって、この課題における参照記憶 (reference memory) とは、見本走行と選択走行において、遅延見本合わせ

では同じ目標箱、遅延非見本合わせでは異なる目標箱へ入ると報酬が得られるという課題解決に必要な手続きの記憶である。一方、作業記憶 (working memory) とは、見本走行においてどちらの目標箱で報酬を得たかという情報の記憶である。

この遅延非見本合わせ課題を最初に用いたRoberts (1974) の報告以後、これまでに多くの研究がなされてきているが、その大部分が廊下式迷路を用いて実験を行っている (たとえば、古川・岩崎, 1989a; Stanton, Thomas, & Brito, 1984)。廊下式迷路では、走路の周囲がすべて側壁で囲まれており、天井はふたで閉じられているため、被験体は迷路外の視覚情報を手がかりとして利用しにくい実験場面といえる。したがって、正選択を行うためには迷路内の手がかり (intra-maze cue) を利用するか、あるいは自己受容感覚手がかり (proprioceptive cue) を利

用しなくてはならない。一方、走路が壁で囲まれていないために装置の周囲を被験体自ら見渡すことが可能な高架式迷路では、迷路内の手がかり、自己受容感覚手がかりに加えて、迷路外の手がかり (extra-maze cue) をも利用することが可能である。ともに作業記憶を調べる課題であるが、一般にこの遅延見本合わせと非見本合わせ課題が廊下式の迷路を用いているのに対して、放射状迷路課題は高架式の装置を用いている。先行研究の結果から、前者では数分から数十分しか記憶を正確に保持できないが (古川・岩崎, 1989a; Stanton et al, 1984), 後者では数時間もの間 (Beatty & Shavalia, 1980), 情報を正しく記憶することができるとされている。したがって、迷路の形状の違いによって記憶を保持できる時間が異なることが予想されるので、本実験では、同じ遅延非見本合わせ反応の成績が廊下式と高架式の迷路によって異なるかどうかを検討することを目的とした。

方 法

被験体 被験体にはWistar-Imamichi系の実験的にナイーブな雄ラットを用いた。実験開始時において12~16週齢、体重は平均351.3g (標準偏差, 26.5g) であった。

装置 装置は廊下式および高架式のT型迷路である。ともに内部はすべて黒色で、長さは出発箱20cm, 選択箱 (走路) 52cm, 目標箱が左右それぞれ60cm, 幅はすべて12cmであった。廊下式迷路は走路に沿って高さ20cmの側壁ですべて囲み、天井は透明なプレキシグラスで覆った。高架式迷路は実験室の床面から50cmの高さの位置にあり、迷路全体に2cmの高さの側壁を設けて被験体の落下を防いだ。両迷路とも出発箱と選択箱、選択箱と左右の目標箱の間にはギロチンドアがあり、被験体が後戻りするのを防いだ。目標箱の先端には直径3.5cmのプラスチック製餌皿を備えつけた。室内灯のほかに、選択点上1mの所から40Wのランプで照明を行った。迷路内の選択点における明るさは、廊下式迷路で約50ルクス、高架式迷路で約140ルクスであった。

手続き 被験体は個別ケージで飼育し、実験期間中は自由摂食時の体重の80~85%を維持した。廊下式および高架式の迷路でそれぞれ6匹ずつ訓練を開始したが、実験中に死亡したラットがいたため、最終的には廊下式で6匹、高架式で4匹のデータが得られた。

(1) 予備訓練 1~4日目には、ラットに1日3分間のハンドリングと10分間の装置内自由探索を

行った。5~6日目には装置内自由探索を10分間行うとともに、実験時に報酬として用いるペレット (1個45mg) の摂食に慣らした。7日目より走行訓練にはいり、7~8日目には左右ランダムに3試行ずつ1日6試行、9~14日目には同じく1日10試行を行った。この走行訓練では、ラットはあらかじめ決められた左右いずれか一方の側の目標箱にのみ行くことが可能であり、四肢がすべてその目標箱に入るとギロチンドアを閉じた。3分を経過しても入らない場合は、実験者がラットを目標箱へ誘導した。ここでの報酬はペレット2個を用いた。

(2) 習得訓練 15日目より遅延非見本合わせ反応の習得訓練を開始した。見本走行では、ラットを出発箱に入れてから5秒後にギロチンドアを開き、決められた側の目標箱に入るまでの潜時を測定し、目標箱の先端で報酬 (ペレット1個) を与えた。その後、直ちにラットを出発箱に戻して、選択走行に移った。ここでの遅延時間は、操作的に5秒と定義した。選択走行では、左右いずれの側にも入ることができるが、見本走行で報酬を得た側と異なる側を選択した場合を正選択とし、ペレット3個を報酬として与えた。誤選択の場合は、選択した目標箱の中に報酬を与えずに10秒間留置した。出発箱のギロチンドアを開けてからラットの四肢が左右いずれか一方の目標箱の中にすべて入るまでの潜時をストップウォッチで測定し選択潜時とした。見本走行で入ることが可能な目標箱の位置は、左右ランダムに5回ずつとし、1日に合計10試行の習得訓練を行った。試行間隔は15~20分とした。10試行中8試行以上が正選択である日が5日連続することを習得基準とした。

(3) 遅延テスト 習得基準に達した翌日から遅延テストを開始した。手続きは習得訓練と同じであるが、見本走行と選択走行の間に挿入する遅延時間として次の10条件を設けた。ラットを、10, 20, 40, 80, 160, 320秒間出発箱に留置して遅延をかける条件、および320, 600, 1200, 2400秒間ホームケージに戻して遅延をかける条件である。これら10条件を上昇系列で徐々に遅延時間を延長させながら、試行間隔20~40分で1日10試行行い、各々の遅延条件で3日間ずつテストした。

結 果

(1) 習得訓練 習得基準達成に要した平均日数 (5日間の基準日を除く) は、廊下式および高架式迷路でそれぞれ1.0日 (0~2日), 0.8日 (0~3日), 最後の3日間における平均正選択率は95.6%, 95.8%であった。すなわち、遅延時間を挿入しない

事態では、廊下式と高架式の迷路の間で明らかな成績の差はなかった。

(2) 遅延テスト Fig. 1に各遅延条件での平均正選択率を示した。遅延時間が延長するに従って正選択率は徐々に低下し、迷路間での差が大きくなった。10~320秒の遅延時間の間、ラットを出発箱に留置する6条件について2要因の分散分析を行ったところ、迷路($F=14.67$, $df=1/8$, $p<.01$)と遅延時間($F=4.99$, $df=5/40$, $p<.01$)の主効果、320~2400秒間ホームケージに留置する4条件でも迷路($F=50.71$, $df=1/8$, $p<.01$)と遅延時間($F=9.83$, $df=3/24$, $p<.01$)の主効果がそれぞれ有意であった。ただし、交互作用に有意な差はなかった。320秒の遅延条件は、ラットを出発箱に留置する場合とホームケージに留置する場合の2通りを設定したので、この2条件についてのみ迷路×遅延時間を過す場所の2要因分散分析を行った。その結果、迷路の差のみが有意であり($F=18.51$, $df=1/8$, $p<.01$)、遅延時間の長さにかかわらず廊下式迷路を用いた場合のほうが正選択率が高かった。したがって、遅延時間中の留置場所は遅延非見本合わせ反応の正選択に影響を及ぼさないと考えられる。なお本実験でテストした最大の遅延時間である2400秒条件での平均正選択率は、廊下式迷路で76.7%、高架式迷路で61.7%であり、いずれも50%ランダムレベルより有意に高い値であった(それぞれ $t=11.71$, $df=5$, $p<.01$; $t=5.44$, $df=3$, $p<.05$)。このことは、2400秒(40分)の遅延時間を挿入した場合でさえ、ある程度の記憶が残っていることを示している。

選択走行における選択潜時を対数変換して平均値をプロットしたのがFig. 2である。遅延条件によって若干の変動があるものの、正選択率の場合と同様の分散分析を行った結果、迷路および遅延時間による差、遅延時間の間ラットを留置する場所による差は統計的に見られなかった。

考 察

廊下式と高架式のふたつのT型迷路における遅延非見本合わせ反応の成績を比較した結果、ほぼ同じ日数で習得基準に達するが、遅延時間の延長にともなう正選択率の低下は高架式迷路のほうが廊下式迷路よりも急激であった。遅延時間が短い条件では、遅延非見本合わせ反応の遂行が作業記憶に依存する割合は相対的に低く、主として参照記憶によって選択反応を行っていると考えられる。しかしながら、遅延時間が延長するにしたがって作業記憶に依存す

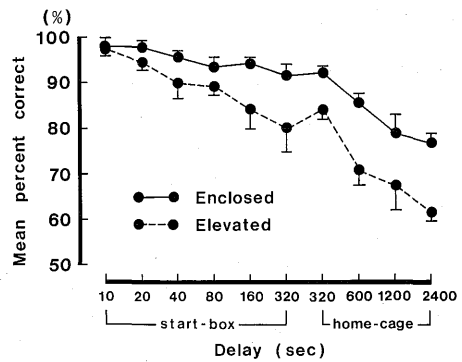


Fig. 1 Mean percent correct choices as a function of delay between information- and choice-run. The animals were detained in start-box for the delay of 10-320 sec, and in home-cage for the delay of 320-2400 sec, respectively. Vertical bars in the figure indicate SEMs.

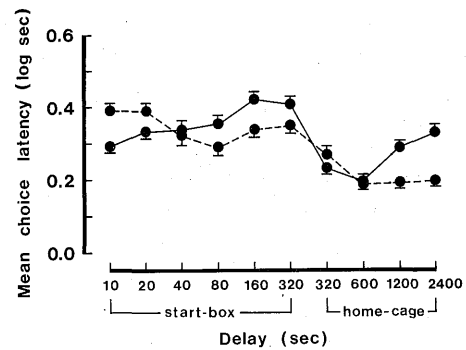


Fig. 2 Mean choice latency as a function of delay between information- and choice-runs. See Fig. 1 for further information.

る程度が高まるといえる。したがって、遅延時間が延長するとともに正選択率の差が廊下式と高架式の迷路の間で増大したという結果は、廊下式と比べて高架式迷路のほうが作業記憶の保持が困難であることを示している。

廊下式迷路では、迷路内手がかりと自己受容感覚手がかりによって課題を解決しなければならないのに対して、高架式迷路ではそれらに迷路外の視覚手がかりが加わる。したがって、高架式迷路のほうが利用できる情報の種類が多いにもかかわらず成績が劣ることが明らかになり、作業記憶の保持を迷路外の視覚手がかりが阻害したという可能性が考えられる。

この原因として、豊富な刺激にさらされた高架式迷路では、その刺激がかえって干渉作用をもたらし、

正選択率の低下を導いたのではないだろうか。遅延時間を挿入しない習得訓練において、廊下式迷路で訓練した群と高架式迷路で訓練した群では、まったく同じ日数で習得し、95%以上の高い正選択率を示しており、選択潜時にも何ら差はなかった。このことは、遅延非見本合わせ反応を遂行するのに迷路外の手がかりが必ずしも必要ではなく、自己受容感覚手がかりのみによっても十分解決可能であることを示唆している。したがって、高架式迷路で訓練したラットでは必要以上の刺激にさらされ、それが課題遂行を干渉したのではないだろうか。遅延非見本合わせ反応に必要な参照記憶は手がかりが多くても習得が妨げられないものの、作業記憶の保持は必要以上の手がかりが加わると、逆に阻害されるといえる。廊下式と高架式のY型迷路を用いて遅延見本合わせを行った古川・岩崎 (1989b) においても、反応習得までの日数および遅延テストの成績が、高架式迷路よりも廊下式迷路で訓練した群のほうが優れているという結果を得ており、これは本実験の結果とも一致するものである。

一般に、1日に1試行のみを課す放射状迷路課題では、迷路外の視覚刺激が重要な手がかりになるため、周囲を見渡しにくい廊下式放射状迷路のほうが高架式放射状迷路よりも成績が劣ることが見だされている (Pico & Davis, 1984)。実験で最もよく用いられている8方向放射状迷路の場合、被験体は種々の手がかりを利用して8本の選択肢を空間的に同定し、その位置を記憶しなければならない。したがって、1日に1試行のテストであっても、記憶すべき項目は“8”になる。この8本の選択肢を被験体が明確に区別して記憶するには、自己受容感覚手がかりでは困難であり、迷路外の視覚情報を手がかりとして利用せざるをえない。そのために、廊下式迷路よりは迷路外の視覚情報を利用しやすい高架式迷路の成績が高くなったと考えられる。これに対して、T型迷路における遅延非見本合わせ課題では、1日に6試行あるいは10試行の複数の試行でテストを行うが、1試行内で記憶する情報は右か左のいずれかの目標箱の位置であり、記憶すべき項目は“1”になる。T型迷路において1つの項目を記憶するには、自己受容感覚手がかりだけでも十分可能であろう。したがって、高架式迷路では必要量以上の迷路外手がかりが付加されたために、それが結果として干渉作用をもたらし、廊下式迷路と比べて低い成績になって現れたものと考えられる。

なお、本実験では2400秒の遅延時間を挿入しても50%ランダムレベルよりも高い正選択率が得られた。この結果は、1280秒の遅延時間を挿入すると遅延非

見本合わせ反応の正選択率がランダムなレベルまで低下する、というわれわれの先の実験結果 (古川・岩崎, 1989a) とは異っている。この点に関し、古川・岩崎 (1989a) では日内で5~1280秒の5種類の遅延時間をランダムな順序で挿入するという手続きを採用しているのに対して、本実験では日間では徐々に遅延時間を延長させているものの日内では同じ遅延時間でテストしている。そのために、本実験の場合には被験体に一種の構えが形成され、それが課題遂行を促進し、遅延時間の延長に対処したのではないだろうか。ランダムな順序で異なる長さの遅延時間が挿入される事態では、この構えが形成されにくく、純粋に作業記憶の能力が正選択率に反映されたと考えられる。

要 約

本研究は、廊下式および高架式T型迷路におけるラットの遅延非見本合わせ反応の成績を比較することを目的とした。5秒の遅延時間を用いて、1日10試行中8試行以上正選択である日が5日連続するという習得基準まで訓練を行った後、10~2400秒の遅延時間を挿入して遅延テストを行った。遅延時間は3日ごとに2倍ずつの割合で延長させ、1日に10試行を課した。その結果、平均正選択率は遅延時間が延長するにしたがって有意に低下したが、いずれの迷路を用いた場合でも2400秒の遅延時間を挿入した条件でさえ50%ランダムレベル以上の成績を示した。さらに、正選択率は高架式迷路よりも廊下式迷路を用いた群のほうが有意に高かった。以上の結果は、自己受容感覚刺激が廊下式T型迷路において遅延非見本合わせ課題を遂行するのに重要な手がかりとして用いられており、高架式迷路では迷路外の視覚的手がかりによってかえって干渉効果が生ずることが示唆される。

引用文献

- Beatty, W.W. & Shavalia, D.A. 1980 Spatial memory in rats: Time course of working memory and effect of anesthetics. *Behavioral and Neural Biology*, 28, 454-462.
- 古川 聡・岩崎庸男 1988 ラットの作業記憶研究の最近の動向 筑波大学心理学研究, 10, 79-89.
- 古川 聡・岩崎庸男 1989a ラットの遅延見本合わせおよび非見本合わせ反応に及ぼすscopolamineの効果 薬物・精神・行動, 9, 273-280.
- 古川 聡・岩崎庸男 1989b 廊下式および高架式

- Y型迷路における老齡ラットの遅延見本合わせ反応 日本心理学会第53回大会発表論文集, pp.515.
- Pico, R.M. & Davis, J.L. 1984 The radial maze performance of mice: Assessing the dimensional requirements for serial order memory in animals. *Behavioral and Neural Biology*, **40**, 5-26.
- Roberts, W.A. 1974 Spaced repetition facilitates short-term retention in the rat. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, **86**, 164-171.
- Stanton, M.E., Thomas, G.J., & Brito, G.N.O. 1984 Posterodorsal septal lesions impair performance on both shift and stay working memory tasks. *Behavioral Neuroscience*, **98**, 405-415.

—1989. 9 .30受稿—