ラットにおける複数系列パタンの併行学習と転移

金沢大学 谷内 通

Concurrent learning of multiple serial patterns and transfer in rats

TOHRU TANIUCHI

*Graduate School of Socio-Environmental Studies, Kanazawa University,
Kanazawa 920-1192*

Abstract The present experiment examined concurrent learning of multiple serial patterns of reward amounts by rats. In Phase 1, rats were trained with 8-8-8-4-0, 4-4-4-2-0, and 2-2-2-1-0 original series, each consisting of varying number of 45 mg food pellets which were presented in the goal box of a straight runway on consecutive runs. Rats showed reliable anticipation of 0 pellet in all the series. In Phase 2, 8-8-8-1-0 novel series was added to the three original series. Anticipation of 0 pellet was more accurate in the novel series than in the original series. In Phase 3, 8-8-8-8-8-4-0, 4-4-4-4-4-2-0, and 2-2-2-2-2-1-0 seven-item series were added to the three original five-item series. Rats showed consistent anticipation of 0 pellet in the seven-item series as well as in the original five-item series. These results indicate that “less than” rule, an abstract relationship defining the decrease in reward amount, served as discriminative cue for 0 pellet, and that neither item-association learning nor serial-position learning played a major role in the learning situation used here.

Key words : rats, serial learning, discrimination learning, relational learning, runway.

直線走路を用いたラットの走行訓練では、試行ごとに目標箱においていくらかの餌が報酬として与えられる。このとき、報酬は走行反応を強化する強化子として作用するだけでなく、後続の強化事象を予期するための情報としても機能する場合がある。すなわち、継起する走行に対して与える報酬量を一定の順序で変化させるという訓練を行うと、大報酬に対する速い走行と小報酬、特に無報酬項目に対する遅い走行が分化し、報酬量予期が示されるのである。このような走行速度の分化は、報酬試行と無報酬試行が交互に生起する単一交替強化事態において広く認められてきた (e.g., Ishida, 1986; 石田, 1989; Tyler, Wortz, & Bitterman, 1953)。

また, Hulse & Dorsky (1977) は, ラットが複雑な報酬量の系列を学習できること, さらに, 系列の構造の複雑性によって項目予期の学

習に差が生じることを見出した。彼等は, 継起する 5 回の走行について, 最初の走行では 45 mg の餌ペレットを 14 個与え, 以下の走行で与える報酬が, 7 個, 3 個, 1 個, 0 個と減少していく 14-7-3-1-0 という項目配列の強単調系列と 14-5-5-1-0 の弱単調系列や 14-1-3-7-0 の非単調系列における 0 ペレット予期の学習について吟味した。その結果, ラットは全ての系列において報酬項目よりも 0 ペレットに対して遅く走行するようになったが, このような 0 ペレット予期は強単調系列において最も優れた。この結果を基に, Hulse (1978; Hulse & Dorsky, 1977) は, 系列の法則構造の学習を強調する法則符号化仮説を提起した。この仮説によると, ラットは隣接する項目間の増減関係である法則 (rule) を, 系列全体について配列した法則構造 (formal rule structure) を符号化・表象化す

ることによって系列を学習するために、法則構造の単純な系列ほど容易に学習される。例えば、14-7-3-1-0 強単調系列の法則構造は $I[i] > I[i+1]$ (I ; 項目, i ; 系列位置) という単一の法則によって記述できる。これに対し、弱単調系列の $I[1] > I[2]$, $I[2] = I[3]$, $I[3] > I[4]$, $I[4] > I[5]$ という法則構造や非単調系列の $I[1] > I[2]$, $I[2] < I[3]$, $I[3] < I[4]$, $I[4] > I[5]$ といった法則構造を記述するためには複数の法則が必要である。したがって、法則構造は強単調系列よりも弱単調系列や非単調系列において比較的複雑であるといえる。その結果、法則構造の符号化が最も容易である強単調系列が最も速やかに学習されると説明された。

これに対し、Capaldi (Capaldi & Molina, 1979; Capaldi, Nawrocki, & Verry, 1985) は、ラットは項目間連合を形成することにより、先行する項目の報酬量を弁別刺激として後続の項目を予測するという記憶弁別理論を提起するとともに、15-10-5-0 の強単調系列よりも 14-14-2-0 や 15-15-0-0 の弱単調系列における 0 ペレットに対して遅い走行が速やかに発現することを示し、法則符号化仮説に対する反証とした。この結果は記憶弁別理論では次のように説明される。15-10-5-0 強単調系列では、15 ペレットについての記憶表象である S^{15} という弁別刺激 (シグナル) が 10 ペレットを信号する $S^{15} \rightarrow 10$ という項目間連合の他に、 $S^{10} \rightarrow 5$, $S^5 \rightarrow 0$ といった連合が形成される。また、14-14-2-0 弱単調系列では、 $S^{14} \rightarrow 14$, $S^{14} \rightarrow 2$, および $S^2 \rightarrow 0$ という項目間連合が形成される。系列内のシグナル間では、互いの類似性に基づいて報酬信号強度に関する刺激般化が生じる。0 ペレットのシグナルである強単調系列の S^5 は弱単調系列の S^2 よりも系列内の他のシグナルと類似しており、より大きな報酬信号傾向を獲得する。この結果、14-14-2-0 系列よりも 15-10-5-0 系列において 0 ペレットに対する走行は速くなると説明された。

Capaldi & Molina (1979) が示した反証に対し、Hulse (1980) は、法則学習と項目連合学習の系列学習への関与はいくつかの条件に依存するという折衷的な仮説を提起した。すなわち、系列を構成する項目相互の弁別性が低く、項目数も多いが一貫した法則構造を持つ系列を短い走行間隔で与えられた場合には、ラットは法則構造を抽出することによって処理を要する情報量を低減することができるので、法則構造の符号化による学習が促されることになる。逆に、項目数が少なく法則構造が顕著でない場合には、項目連合学習による系列習得に必要な情報量、すなわち項目間連合の数が少なくて済むので、項目連合学習の方が促されると説明する。このように、Hulse (1980) は、法則学習か項目連合学習かという学習過程が系列の習得に要する記憶負荷に依存すると考えたのである。この仮説は記憶負荷仮説と呼ばれており、系列の長さや走行間隔の作用に関する仮定についてはこれを支持する証拠も報告されてきている (Fountain, Schenk, & Annau, 1985; 谷内, 1992)。

また、最近、谷内 (1996, 1997) は、それぞれ複数の系列から構成された増加系列と減少系列というカテゴリ間の弁別学習について吟味した。その結果、系列内の単一の項目の報酬量等の局所手がかり (local cue) が弁別手がかりとして有効である場合には、法則構造ではなく局所手がかりが弁別刺激として機能することが示された。また、局所手がかりの有効性を低下させると、法則構造が弁別刺激として機能することを示唆する結果が確認された。このような結果は、単純な項目記憶が課題解決に必要な記憶負荷を低減する手がかりとして有効ではない場合に法則学習が促されることを示しており、Hulse (1980) が示唆したように、法則学習の発現に及ぼす記憶負荷要因の重要性を示す証拠であると理解することができる。

学習に要する記憶負荷という観点から見ると、直線走路を用いた従来の報酬系列学習研究

では、いくつかの例外を除いて (Hulse & Dorsky, 1979; 谷内, 1995), 被験体が学習することを求められる系列が1種類に限定されていたという事実が注目される。単一の系列の学習では、ほとんどの場合、法則学習と項目連合学習の両方が有効である。例えば、最も頻繁に使用されている14-7-3-1-0系列の習得は、 $I[i] > I[i+1]$ という法則構造の学習によっても可能であるが、同時に、学習の指標となる0ペレットの弁別は1ペレットの記憶をシグナルとした項目間連合の形成によっても可能である。これまで、単一の系列を用いた場合には、法則構造の効果 (Capaldi & Molina, 1979; Capaldi et al., 1985, 実験1) や新奇項目の推定 (Haggbloom & Brooks, 1985) 等について法則符号化仮説とは矛盾する結果が示されてきているが、このような結果が示されてきた原因の一つとして、単一の系列を学習材料にした場合には、法則学習と項目連合学習の両方の様式の学習が有効であり、法則学習が行われるための課題要請が十分でなかった可能性を指摘できる。

そこで本研究では、直線走路事態において、法則学習は有効であるが項目連合学習は有効ではなくなるような複数系列の併行学習事態を設定し、その学習について吟味する。まず、訓練の第1段階では、同一の被験体に対して、8-8-8-4-0, 4-4-4-2-0, および2-2-2-1-0という3種の系列を不規則な順序で提示する。これらの系列では、単一項目の記憶をシグナルとして0ペレットを弁別するという項目連合学習は有効ではない。すなわち、8-8-8-4-0系列の第4項目の記憶表象である S^4 や4-4-4-2-0系列の S^2 は、各系列における0ペレットのシグナルとなる($S^4 \rightarrow 0$, $S^2 \rightarrow 0$)と同時に、他の系列においては報酬項目のシグナルになると考えられる($S^4 \rightarrow 4$, $S^4 \rightarrow 2$, $S^2 \rightarrow 2$, $S^2 \rightarrow 1$)。したがって、直前の単一の項目記憶をシグナルとした項目間連合の形成が行われた場合には、8-8-8-4-0や4-4-4-2-0系列では0ペレット予期は認められないと予測される。

一方、第1段階における3種の系列の0ペレット予期を発現させ得る学習過程の候補としては、法則学習、複合記憶に基づく項目連合学習、および、系列位置学習の3種が考えられる。まず、第1段階で提示される系列は、報酬項目には常に等価法則が先行し、0ペレットには常に減少法則が先行するという共通の構造を持っている。したがって、ラットはS+である等価法則(等価→報酬項目)とS-である減少法則(減少→0ペレット)を弁別することにより、これら3系列の0ペレットを適切に予期できると考えられる。このような様式の法則学習は、法則符号化仮説が仮定する系列全体の法則構造の学習とは異なり、一部の局所的な法則を手がかりとした後続項目の弁別学習であるので、本研究では特に法則弁別学習と呼ぶことにする。次に、0ペレットの直前の項目の記憶とさらに前の項目の記憶を結合した複合記憶をシグナルとした項目間連合の形成 (e.g., Capaldi & Verry, 1981) によっても0ペレット予期は可能になると考えられる。すなわち、各系列における0ペレットの弁別は、少なくともその2つ以上前までの項目の記憶を結合することによって可能になる。例えば、先行する2つ前までの項目に関する複合記憶を仮定した場合には、各系列ごとに S^{8+4} , S^{4+2} , および S^{2+1} といった複合記憶と0ペレットとの間に項目間連合を個別に形成することによって($S^{8+4} \rightarrow 0$, $S^{4+2} \rightarrow 0$, $S^{2+1} \rightarrow 0$)報酬項目を信号する複合記憶 (e.g., $S^{8+8} \rightarrow 8$, $S^{4+4} \rightarrow 4$, $S^{2+2} \rightarrow 2$)との弁別が可能になり、0ペレットの予期が可能になると考えられる。最後に、全ての系列の0ペレットは第5項目である。したがって、系列位置の学習 (e.g., Roitblat, Pologe, & Scopatz, 1983) によっても、全ての系列における0ペレットを予期することが可能であると考えられる。

第2段階では、これら3種の学習過程のいずれが優勢であるのかについて吟味する。第1段階において訓練に使用した3種の訓練系列に加えて、第3項目から第4項目への報酬量の低下

の度合いを顕著にした 8-8-8-1-0 という新奇系列を提示してテストする。訓練系列と新奇系列の 0 ペレットに対する遂行について、前述の 3 つの仮説は異なった予測を導く。まず第 1 段階において減少法則が 0 ペレットの信号 (S-) として機能していた場合、0 ペレット予期は、減少法則の検出、すなわち S- である減少法則と S+ である等価法則との弁別が最も容易であると期待される 8-8-8-1-0 新奇系列において最も優れると予測される。これに対し、複合記憶に基づく項目連合学習が行われていた場合、0 ペレットに先行する複合記憶が第 1 段階において既に 0 ペレット信号傾向を獲得している訓練系列 (e.g., $S^{8+4} \rightarrow 0$, $S^{4+2} \rightarrow 0$, $S^{2+1} \rightarrow 0$) の 0 ペレット予期の方が、そのような連合が未成立である 8-8-8-1-0 系列 (e.g., $S^{8+1} \rightarrow 0$) の 0 ペレット予期よりも優れると予測される。また、系列位置学習が行われた場合には、訓練系列と新奇系列の両者において 0 ペレットの系列位置は等しく第 5 項目であるので、0 ペレット予期の水準は新奇系列を含む全ての系列において等しくなると予測される。

第 3 段階では、補足的な検討として、系列位置学習の可能性についてさらに吟味する。第 2 段階までに訓練に使用した 8-8-8-4-0, 4-4-4-2-0, 2-2-2-1-0 の 5 項目系列に、8-8-8-8-8-4-0, 4-4-4-4-4-2-0, 2-2-2-2-2-1-0 の 7 項目系列を加えて訓練する。系列位置学習が優勢な学習過程であれば、5 項目系列と 7 項目系列の両者において、第 5 走行における遅い走行が認められることが予測される。また、少なくとも、7 項目系列については、その導入直後における 0 ペレット予期は認められないと予測される。

方 法

被験体 日本チャールズ・リバー社から購入した Sprague Dawley 系の雄ラット 8 匹を被験体として用いた。被験体は実験開始時に約 300-390 日齢であり、約 180-270 日前に本研究

で用いたものと同一の走路において、報酬量系列学習ではなく、単純な走行反応の習得訓練を受けた経験があった。この訓練は、20 分間の探索、全 15 試行の走行反応の習得訓練、および全 20 試行の消去訓練を行うものであった。また、習得訓練は、3 分間の間隔で与えられる走行ごとに 45 mg の餌ペレット 2 粒を報酬として与えるものであった。

装置 全長 162 cm、幅 10 cm、高さ 11 cm の廊下式直線走路を装置として用いた。走路は 30 cm の出発箱、92 cm の走路、40 cm の目標箱からなり、出発箱と目標箱はギロチンドアによって走路部分と仕切ることができた。出発箱と目標箱は茶色、走路は黒色であった。走路全体を開閉可能な金網の蓋によって覆った。目標箱の末端には直径 5 cm、深さ 1.5 cm の餌皿を取り付けた。餌皿の手前 10 cm のところには光電管が設置されており、出発箱のギロチンドアを引き上げてから、ラットが光電を遮るまでの時間を 1/100 秒単位で測定した。実験条件にしたがった個数の 45 mg の餌ペレットを報酬項目として用いた。

手続き 本訓練に先だち 10 日間の予備訓練を行なった。この期間に食餌制限によってラットの体重を自由摂食時の 85% に減量し、 $\pm 2\%$ の精度で実験終了までこの体重を維持した。1-8 日目までは毎日 1 分間のハンドリングを与えた。9 日目と 10 日目には装置内の自由探索を個別に 10 分間与えた。このとき、装置内に置いた 6 粒の餌ペレットを食べさせた。

予備訓練が終了した翌日から第 1 段階の訓練を 24 日間行なった。8-8-8-4-0, 4-4-4-2-0, および 2-2-2-1-0 系列を 1 日に各 2 回ずつ提示した。系列の提示順序は、同じ系列を連続して提示しないという制限の下で、3 回の系列提示ごとに 3 日ブロックのラテン方格で替えた。系列内の走行間隔は 15-20 秒間、系列間隔は 10-20 分間であった。ラットを出発箱に入れ、約 3 秒後にギロチンドアを引き上げた。ラットが目標箱に達すると目標箱側のドアを降ろした。

報酬項目の場合、ラットが全ての餌ペレットを食べ尽くすと取り出して拘留用ケージに移し、走行間隔が経過した後に次の走行を開始した。0ペレットの場合は目標箱に20秒間留めた後に取り出した。いずれの走行においても、ラットが60秒以内に目標箱に入らない場合は実験者が目標箱に入れた。この場合の走行時間は60秒とした。系列の最後の走行が終了すると、ラットを待機用ケージに移し、系列間隔が経過した後に次の系列の提示を開始した。1日の訓練が終了するとラットを飼育用ケージに戻し、最後の走行から20分以上経過した後に飼育用飼料を与えた。

第1段階終了の翌日から、第2段階の訓練を3日間行なった。第2段階では第1段階の訓練に用いた3種の系列に8-8-8-1-0系列を加えて、1日に各系列を4系列ブロックで2回ずつ計8系列を提示した。その他の手続きは第1段階と同じであった。

第2段階終了の翌日から第3段階の訓練を3日間行なった。第3段階では、第1段階で訓練した8-8-8-4-0, 4-4-4-2-0, および2-2-2-1-0の3種の5項目系列と、8-8-8-8-8-4-0, 4-4-4-4-4-2-0, 2-2-2-2-2-1-0という3種の7項目系列を、第1項目が等しい系列を連続して提示しないという制限の下で、1日に各1回ずつ計6系列を提示した。その他の手続きは第1・第2段階と同じであった。

実験は2回に分けて行った。4匹の被験体について全ての実験手続きを完了した後に、残りの4匹について同じ手続きを繰り返した。

結 果

第1段階 本研究では、ラットの遂行を表す指標として走行速度(cm/秒)を用いた。これは、出発箱の出口から目標箱内の光電までの距離を走行時間によって除したものである。Figure 1は、第1段階における各系列に対する平均走行速度を3日ブロックで示している。0ペレット予期の発現について評価するために、第5走行

とその他の走行における走行速度を対比検定を用いた計画比較によって比較したところ、0ペレットに対する走行は第3ブロック以降は全ての系列において他の全ての走行よりも遅いことが示された($p < .05$)。この結果は、訓練の比較的初期から全ての系列において0ペレット予期が発現したことを示している。また、最終の第8ブロックについて、各系列内の走行を対比検定を用いた計画比較によって比較した。その結果、8-8-8-4-0系列では、第1走行と第5走行は第2, 3, 4走行よりも遅く、第5走行は第1走行よりも遅かった($p < .05$)。4-4-4-2-0系列では、第5走行は第1-4走行よりも遅く、第1走行と第4走行は第2走行よりも遅かった($p < .05$)。また、2-2-2-1-0系列では、第4走行と第5走行は第1-3走行よりも遅く、第5走行は第4走行よりも遅かった($p < .05$)。これらの結果は、全ての群において有意な0ペレット予期が認められたが、4-4-4-2-0系列や2-2-2-1-0系列では第4走行に対しても走行速度の低下が生じたことを示している。Figure 1に示したデータについて、系列(3)×走行(5)×日ブロック(8)×被験体の分散分析を施した。その結果、系列($F[2, 14] = 27.58, p < .01$), 走行($F[4, 28] = 55.63, p < .01$), 日ブロック($F[7, 49] = 40.60, p < .01$)の主効果、および、系列×走行($F[8, 56] = 8.59, p < .01$), 走行×日ブロック($F[28, 196] = 22.68, p < .01$)の交互作用が有意であった。系列×走行の交互作用について走行ごとの系列の単純主効果を吟味したところ、第1走行では有意ではないが($F < 1$), 第2-5走行では有意であった($F_s[2, 70] = 4.84, 23.35, 42.61, 13.73, p < .01$, 第2走行のみ $p < .03$)。第2-5走行における系列の単純主効果についてNewman-Keuls検定を行った。その結果、第2走行は8-8-8-4-0系列よりも2-2-2-1-0系列で遅かった($p < .05$)。また、第3-5走行は、8-8-8-4-0系列よりも4-4-4-2-0系列で遅く、4-4-4-2-0系列よりも2-2-2-1-0系列で遅かった($p < .05$)。これらの結果は、報酬項目に対す

Figure 1. Mean running speeds for 8-8-8-4-0, 4-4-4-2-0, and 2-2-2-1-0 original series in blocks of three days during Phase 1. Each series was presented twice per day.

る走行についても、ある程度の走行速度の分化が系列間で認められたことを示している。

第2段階 Figure 2の最も左のパネルは、第2段階の第1日目の第1回目の提示における各系列に対する走行速度を示している。0ペレットに対する走行を8-8-8-1-0新奇系列と8-8-8-4-0、4-4-4-2-0、および2-2-2-1-0の訓

練系列の間で対比検定を用いた計画比較によって比較したところ、0ペレット予想は全ての訓練系列よりも8-8-8-1-0新奇系列において優れていた($ps < .05$)。この結果は、第3項目から第4項目への報酬量の低下の度合いが顕著な8-8-8-1-0新奇系列の0ペレット予想が、この系列が導入された直後から最も優れていたこと

Figure 2. Mean running speeds for 8-8-8-1-0 novel series and for 8-8-8-4-0, 4-4-4-2-0, and 2-2-2-1-0 original series on the first presentation of the series (far left panel) and on each of three days during Phase 2. Each series was presented twice per day.

を示すものである。Figure 2 の右の 3 つのパネルは第 2 段階における各訓練日の平均走行速度を示している。このデータについて、系列(4)×走行(5)×日(3)×提示順序(2)×被験体の分散分析を行なった。その結果、系列 ($F[3, 21]=13.54$, $p<.01$), 走行 ($F[4, 28]=127.41$, $p<.01$), 提示順序 ($F[1, 7]=7.09$, $p<.04$) の主効果が有意であった。また、系列×走行 ($F[12, 84]=15.04$, $p<.01$), 系列×走行×日 ($F[24, 168]=1.63$, $p<.05$) の交互作用が有意であった。系列×走行×日の交互作用について、各日における系列×走行の単純交互作用を吟味したところ、全ての日において有意であった ($F_s[12, 252]=5.42, 6.71, 6.18$, $p_s<.01$)。系列の単純主効果を

第 5 走行について吟味したところ、全ての日において有意であった ($F_s[3, 315]=17.49, 16.94, 14.39$, $p_s<.01$)。各日の第 5 走行における系列の単純主効果について Newman-Keuls 検定を施したところ、1 日目と 2 日目では、0 ペレットに対する走行は 8-8-8-1-0 系列において他の全ての系列よりも遅かった ($p_s<.05$)。また、3 日目における 0 ペレットに対する走行は、8-8-8-4-0 系列や 2-2-2-1-0 系列よりも 8-8-8-1-0 系列において遅かったが ($p_s<.05$), 8-8-8-1-0 系列と 4-4-4-2-0 系列の差は有意ではなかった。この分散分析の結果は、新奇系列を導入した直後から、訓練系列よりも新奇系列における 0 ペレット予期が優れたことを示した

Figure 3. Mean running speeds for 8-8-8-4-0, 4-4-4-2-0, and 2-2-2-1-0 five-item original series and for 8-8-8-8-8-4-0, 4-4-4-4-4-2-0, and 2-2-2-2-2-1-0 seven-item novel series averaged over all three days of Phase 3. Each series was presented once per day.

計画比較の結果と合致するものである。

第3段階 Figure 3は、第3段階における各系列に対する平均走行速度を示している。第1-5走行の速度を5項目系列と7項目系列の間で比較するために、第1-5走行のデータのみを用いて、系列の長さ(2)×系列(3)×走行(5)×日(3)×被験体の分散分析を行った。その結果、系列の長さ ($F[1, 7]=19.03, p<.01$)、系列 ($F[2, 14]=14.34, p<.01$)、走行 ($F[4, 28]=38.46, p<.01$)の主効果、および、系列の長さ×走行の交互作用 ($F[4, 28]=50.98, p<.01$)が有意であった。系列の長さ×走行の交互作用について走行ごとの系列の長さの単純主効果を吟味した。その結果、第1-4走行では有意ではないが ($F_s<1$)、第5走行では7項目系列よりも5項目系列の走行が有意に遅かった ($F[1, 35]=193.09, p<.01$)。また、5項目系列と7項目系列の両者において0ペレット予想が生じたことを確認するために、系列の長さに関する条件ごと

に3種の系列それぞれにおける報酬項目に対する走行と0ペレットに対する走行を対比検定を用いた計画比較によって比較した。その結果、0ペレットに対する走行は、全ての5項目系列と全ての7項目系列において、全ての報酬項目よりも遅かった ($ps<.01$)。これらの結果は、5項目系列だけでなく第3段階で初めて導入された7項目系列においても有意な0ペレット予想が即座に発現したことを示している。

考 察

本研究では、複数系列の併行学習について吟味した。第1段階は8-8-8-4-0, 4-4-4-2-0, および、2-2-2-1-0系列の併行学習であったが、全ての系列において有意な0ペレット予想が認められた。Capaldi & Molina (1979) が主張したように、項目間連合のシグナルとして単一の項目記憶だけを仮定した場合には、8-8-8-4-0系列の S^4 や 4-4-4-2-0 系列の S^2 は各系列におけ

る0ペレットのシグナルである($S^4 \rightarrow 0, S^2 \rightarrow 0$)と同時に、他の系列における報酬項目のシグナルになり($S^4 \rightarrow 4, S^4 \rightarrow 2, S^2 \rightarrow 2, S^2 \rightarrow 1$)、これらは互いに弁別不可能であると考えられる。したがって、直前の単一の項目記憶だけをシグナルとして仮定した項目連合学習では、第1段階において認められた8-8-8-4-0系列や4-4-4-2-0系列の0ペレット予想については説明できないと結論することができる。

これに対し、第1段階における0ペレット予想は、法則弁別学習、複合記憶に基づく項目連合学習、および系列位置学習という3つの様式の学習によって可能であった。そこで、第2段階では、第1段階において訓練に使用した訓練系列に加えて、第3項目から第4項目への報酬量の低下の度合いを顕著にした8-8-8-1-0という新奇系列を提示することによって、上記の3つの学習過程のいずれが優勢であったのかを吟味した。その結果、0ペレット予想は、新奇系列を導入した直後から、訓練系列よりも8-8-8-1-0新奇系列において有意に優れた。この結果は、第3項目と第4項目の間の減少法則が0ペレットの弁別刺激として機能するという法則弁別仮説の予測と一致するものである。減少法則が0ペレットの弁別刺激(S-)として機能した場合、0ペレット予想は、減少法則の検出、すなわちS-である減少法則とS+である等価法則との弁別が最も容易であると期待される8-8-8-1-0新奇系列において最も優れると予測された。第2段階の結果はこの予測を支持するものであり、ラットが項目間の抽象的關係性である減少法則を弁別刺激として0ペレットを予想したことを示唆するものである。

一方、第2段階における訓練系列と新奇系列に対する遂行の結果は、複合記憶に基づく項目連合学習や系列位置学習が行われた場合に予測された結果とは矛盾するものであった。まず、複合記憶に基づく項目連合学習が行われていた場合、0ペレットに先行する複合記憶が第1段階において既に0ペレット信号傾向を獲得して

いる訓練系列(e.g., $S^{8+4} \rightarrow 0, S^{4+2} \rightarrow 0, S^{2+1} \rightarrow 0$)の0ペレット予想の方が、複合記憶(e.g., S^{8+1})と0ペレットの間の連合が未成立である8-8-8-1-0新奇系列の0ペレット予想よりも優れると予測された。しかしながら、新奇系列が初めて提示された試行においても、0ペレット予想は訓練系列よりも新奇系列において有意に優れた。したがって、この結果は、複合記憶に基づく項目連合学習からの予測とは矛盾するものであるといえる。

また、系列位置学習が行われた場合には、訓練系列と新奇系列の両者において0ペレットの系列位置は第5項目であるので、0ペレット予想の精度は新奇系列を含む全ての系列において等しくなると予測された。したがって、新奇系列と訓練系列の間で0ペレット予想に差が認められたという結果は、系列位置学習からの予測とは矛盾するものであるといえる。系列位置学習の可能性については、第3段階においても補足的に吟味した。この段階では、第1段階で提示した8-8-8-4-0, 4-4-4-2-0, 2-2-2-1-0の5項目系列に、8-8-8-8-8-4-0, 4-4-4-4-4-2-0, 2-2-2-2-2-1-0の7項目系列を新たに加えたが、5項目系列だけでなく7項目系列についても0ペレット予想が即座に発現した。また、第5走行については5項目系列と7項目系列の間で差が認められ、5項目系列についてのみ遅い走行が認められた。これらの結果は、系列位置学習が行われた場合に予測される結果に明らかに反するものである。このように、第2段階と第3段階の結果は、本研究における系列位置学習の可能性については否定的なものであると結論できる。

これまでに、直線走路における報酬系列学習において、ラットが走行回数の計数に基づく項目予想を示すことが報告されてきている(e.g., Burns & Nesbitt, 1990; Capaldi & Miller, 1988)。したがって、ラットは0ペレット項目の系列位置学習を行い得る基礎的能力を有していると考えられる。しかしながら、0ペレットのシ

グナルとして直前の項目の報酬量が有効である場合には、系列位置学習よりも項目連合学習が優勢な学習過程となることを示した証拠もある (e.g., Haggbloom, 1985)。また水原 (1991) は、直線走路事態におけるラットの計数研究について評論したなかで、系列内の項目同士の弁別性が低く項目間連合による項目予期が困難である場合に、計数に基づく項目予期が行われる可能性を指摘している (p.72)。本研究における複数系列の併行学習事態では、単一の項目ではないが、複数項目の複合記憶もしくは項目間の関係性といった項目に関する情報が0ペレットの弁別刺激として有効であった。したがって、水原 (1991) が示唆したように、本研究においても、項目情報が系列位置情報を隠蔽したと考えることは可能であると思われる。系列学習における項目情報の有効性と系列位置学習の関係について直接的に吟味する必要がある。

また、本研究では、系列全体の法則構造の一部の局所的な法則が後続の0ペレットの弁別刺激として機能する場合があるとする法則弁別仮説を提起したが、これは法則符号化仮説によって仮定された法則学習とは異なるものである。法則符号化仮説は、ラットが系列全体の法則構造、すなわち隣接する項目間の関係性である法則の配列を学習することを仮定しており、特定の法則が後続項目の弁別刺激として機能するという学習様式については考慮されていない。本研究の第3段階では、7項目系列を新たに加えた場合にも、0ペレット予期は即座に発現した。法則符号化仮説が仮定する系列全体の法則構造の学習によると、第1-2段階の5項目系列については、 $I[1]=I[2]$, $I[2]=I[3]$, $I[3]>I[4]$, $I[4]>I[5]$, という法則構造が表象化されていたと考えられる。第3段階で新たに加えられた7項目系列の法則構造は、 $I[1]=I[2]$, $I[2]=I[3]$, $I[3]=I[4]$, $I[4]=I[5]$, $I[5]>I[6]$, $I[6]>I[7]$ であり、5項目系列のそれとは異なっているため、ラットは7項目系列の法則構造について新たに学習する必要がある

あったはずである。したがって、新奇な7項目系列においても5項目系列に匹敵する0ペレット予期が即座に発現したという結果については、法則符号化仮説からは説明が困難であり、法則弁別仮説のような新たな法則学習の可能性を示唆するものであるといえる。今後、学習材料として用いられる報酬系列の構造や数、もしくは系列の組み合わせ等に依存して、系列全体に関わる法則構造の学習だけでなく、多様な法則学習が行われる可能性についても検討する必要があると思われる。

ところで、動物種間の知的能力を、彼等が形成および操作し得る心的表象の水準という点から比較するという接近法がある。例えば、Premack (1983) は動物における心的表象を、刺激に関する感覚的水準における具体的表象と、刺激の機能や刺激間の関係性に関する抽象的表象に区分している。刺激の具体的な表象の間の連合学習は比較的基礎的な過程であるが、刺激間の関係性等に関する抽象的表象の形成に基づく学習は高次の心的機能であるとされた。非霊長類における抽象的表象の形成と操作の可能性については議論の多い問題であり、特にラットにおける刺激間の関係性に関する抽象的関係性の学習を示す証拠は欠如していることが指摘されている (e.g., Roitblat & Fersen, 1992)。ラットの系列パタン学習における法則学習と項目連合学習では、学習に必要とされる心的表象の水準において異なるとみなすことができる。例えば、複合記憶に基づく項目連合学習の場合は、複数の項目に関する具体的記憶である形態的刺激が形成され (e.g., S^{8+8} , S^{8+4})、後続項目のシグナルとなると考えるが、このような形態刺激は項目間の関係性を一切含まないものであり、これを構成する項目の報酬量といった刺激の物理的性質によって規定されるものである。これに対し、法則学習では、その基礎過程として隣接する項目間の抽象的關係性である法則の符号化を仮定する。このような符号化においては、例えば、8-8と4-4もしくは8-4と

4-2 といった具体的な報酬量において異なる刺激対について、ラットが“等価”や“減少”という同一の抽象的関係性を抽出できることが必要である。このように、ラットにおける法則学習を実証する試みは、この動物種における抽象的表象の使用という議論の多い問題について検討するという意義を持つといえる。

ハトにおける見本合せ学習や同異性弁別学習では、刺激例数が少ない場合には刺激の具体的記憶に基づく条件性弁別学習が行われるが (Wilson, Mackintosh, & Boakes, 1985), 刺激例数が多い場合には同異性概念の形成という刺激間の関係性に基づく学習が行われる (e.g., Santiago & Wright, 1984) ことが指摘されている (e.g., Macphail, Good, Honey, & Willis, 1995)。ラットの系列パターン学習では、具体的表象だけを仮定する項目連合学習については、先行する単一の項目 (Capaldi, Verry, & Davidson, 1980) もしくは複数の項目 (Capaldi, Nawrocki, & Verry, 1983; Capaldi & Verry, 1981) を手がかりとした後続項目の弁別学習が成立することが明確に実証されている。これに対し、法則学習については未だにその存在を実証すべき段階にあるように思われるが、この事実もまた、ラットにおける事象間の関係性の学習が比較的困難なものであることを示すのかもしれない。ラットにおいて、法則学習という刺激間の関係性に関する学習の成立を明確に実証すること、および、そのような学習の発現に関わる条件をさらに明らかにすることが重要であると思われる。

引用文献

- Burns, R.A., & Nesbitt, F.A. 1990 A test for S-S associations in a conditional counting task. *Bulletin of the Psychonomic Society*, **28**, 441-444.
- Capaldi, E.J., & Miller, D.J. 1988 Counting in rats: Its functional significance and the independent cognitive processes that constitute it. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **14**, 3-17.
- Capaldi, E.J., & Molina, P. 1979 Element discriminability as a determinant of serial-pattern learning. *Animal Learning & Behavior*, **7**, 318-322.
- Capaldi, E.J., Nawrocki, T.M., Miller, D.J., & Verry, D.R. 1985 An examination into some variables said to affect serial learning. *Animal Learning & Behavior*, **13**, 129-136.
- Capaldi, E.J., Nawrocki, T.M., & Verry, D.R. 1983 The nature of anticipation: An inter- and intraevent process. *Animal Learning & Behavior*, **11**, 193-198.
- Capaldi, E.J., & Verry, D.R. 1981 Serial order anticipation learning in rats: Memory for multiple hedonic events and their order. *Animal Learning & Behavior*, **9**, 441-453.
- Capaldi, E.J., Verry, D.R., & Davidson, T.L. 1980 Memory, serial anticipation pattern learning, and transfer in rats. *Animal Learning & Behavior*, **8**, 575-585.
- Fountain, S.B., Schenk, D.E., & Annau, Z. 1985 Serial-pattern-learning processes dissociated by trimethyltin exposure in rats. *Physiological Psychology*, **13**, 53-62.
- Haggbloom, S.J. 1985 Serial learning and transfer in rats: Effects of changes in stimulus-stimulus associations, pattern structure, and serial position information. *Animal Learning & Behavior*, **13**, 370-374.
- Haggbloom, S.J., & Brooks, D.M. 1985 Serial anticipation and pattern extrapolation in rats as a function of element discriminability. *Animal Learning & Behavior*, **13**, 183-199.
- Hulse, S.H. 1978 Cognitive structure and serial pattern learning by animals. In S.H.Hulse, H.Fowler, & W.K.Honig (Eds.), *Cognitive Processes in Animal Behavior*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. Pp.311-340.

- Hulse, S.H. 1980 The case of the missing rule: Memory for reward vs. formal structure in serial pattern learning by rats. *Animal Learning & Behavior*, **8**, 689-690.
- Hulse, S.H., & Dorsky, N.P. 1977 Structural complexity as a determinant of serial pattern learning. *Learning and Motivation*, **8**, 488-506.
- Hulse, S.H., & Dorsky, N.P. 1979 Serial pattern learning by rats: Transfer of a formally defined relationship and the significance of nonreinforcement. *Animal Learning & Behavior*, **7**, 211-220.
- Ishida, M. 1986 Partial reinforcement delayed extinction effect after regularly alternating reward training. *Animal Learning & Behavior*, **14**, 293-300.
- 石田雅人 1989 強化の学習心理学: 連合か認知か 北大路書房
- Macphail, E.M., Good, M., Honey, R.C., & Willis, A. 1995 Relational learning in pigeons: The role of perceptual processes in between-key recognition of complex stimuli. *Animal Learning & Behavior*, **23**, 83-92.
- 水原幸夫 1991 動物における計数行動: 直線走路実験を中心とした文献展望 広島大学教育学部紀要, **40**, 67-74.
- Premack, D. 1983 The codes of man and beasts. *Behavioral and Brain Sciences*, **6**, 125-167.
- Roitblat, H.L., & Fersen, L. von 1992 Comparative cognition: Representation and processes in learning and memory. *Annual Review of Psychology*, **43**, 671-710.
- Roitblat, H.L., Pologe, B., & Scopatz, R.A. 1983 The representation of items in serial position. *Animal Learning & Behavior*, **11**, 489-498.
- 谷内 通 1992 ラットの系列パターン学習における走行間間隔と系列移行の効果 動物心理学研究, **42**, 77-86.
- 谷内 通 1995 ラットの系列パターン学習における系列間転移と保持間隔の効果 動物心理学研究, **45**, 21-29.
- 谷内 通 1996 ラットにおける報酬系列の法則構造の弁別 動物心理学研究, **46**, 100.(抄録)
- 谷内 通 1997 ラットの系列学習に関する実験的検討 金沢大学博士論文 (未公開)
- Tyler, D.W., Wortz, E.C., & Bitterman, M.E. 1953 The effect of random and alternating partial reinforcement on resistance to extinction in the rat. *American Journal of Psychology*, **66**, 57-65.
- Wilson, B., Mackintosh, N.J., & Boakes, R.A. 1985 Matching and oddity learning in the pigeon: Transfer effects and the absence of relational learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **37B**, 295-311.
- Santiago, H.C., & Wright, A.A. 1984 Pigeon memory: Same/different concept learning, serial probe recognition acquisition, and probe delay effects on the serial-position function. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **10**, 498-512.

(1997.11.4 受稿, 1998.3.6 受理)