

ラットにおける系列学習研究の動向 (3)

— 系列位置学習 —

矢澤久史

1. はじめに—人間における系列学習研究の概略

我々の生活には、電話番号、1週間の曜日、単語の綴りなど、系列内の項目が一定の順序で生起する多くの様々な状況がある。このような固定された順番で生起する事象に対する学習を系列学習という。系列学習に対する研究は、Ebbinghaus (1885/1964) に始まり、彼は系列内の項目間に連合が形成されることを強調した。Crowder & Greene (2000) は、これまでの系列学習に関する文献をレビューし、系列学習とそれに関連した心理過程を理解することは、Ebbinghaus の研究以来、常に学習と認知に関する研究における中心的な問題であったことを指摘している。

系列学習は、特有の刺激が特有の項目を信号する弁別学習である。各項目を信号する刺激に関して、古くから2つのアプローチが対立して来た (Woodworth, 1938 参照)。Ebbinghaus (1885/1964) などの項目間連合を強調する理論によれば、A-B-C 系列では項目 B に関連した刺激が項目 C を信号するというように項目 C を信号する刺激は系列内の1つ前 (Ebbinghaus, 1885/1964) か、それ以上前 (Young, 1961, 1968) の項目から生じるといふ。これに対し、Ladd & Woodworth (1911) は、項目間連合ではなく、系列内で占めている位置と項目間の連合によって系列が学習されるという系列位置学習の可能性を示唆した。系列位置学習によれば、A-B-C 系列の第2位置に連合した刺激が項目 B を信号するというように、刺激は系列内の項目の位置から生じると考えられている。

しかし、当初は項目間連合を強調するアプローチが盛んであり、系列位置学習はかなり後まで注意を向けられなかったという (Bower, 1971; Ebenholtz, 1972)。系列位置学習が注目されるきっかけとなった研究として、原学習系列と項目が同じ位置か異なる位置にある系列に対する転移を調べた Ebenholtz (1963) の研究がある。彼の実験では、まず被験者に A-B-C-D-E-F-G-H-I-J という10項目からなる系列を学習させた。その後、10項目のうちの5項目が変更されたが、第1群では、n1-B-n2-D-n3-F-n4-H-n5-J というように変更されなかつ

た項目 (B、D、F、H、J) の位置は原学習と同じであった。一方、第2群では F-n4-H-n5-J-n1-B-n2-D-n3 というように変更されなかった項目の位置も変えられた。第1群であっても第2群であっても項目間の組み合わせは原学習とはすべて変えられているので、項目間連合が学習されるのであれば、転移系列の学習には差が生じないはずである。しかし、位置が変えられなかった第1群の方が位置も変えられた第2群よりも早く学習が成立することが示され、系列位置学習の重要性が示唆された。現在では、人間における系列学習では、位置学習を強調する説明は影響力があることが指摘されている (eg., Colombo & Frost, 2001; Johnson, 1991)。

2. ラットにおける系列学習研究—系列位置学習の兆し

人間における系列学習研究と同様に、動物における系列学習についても多くの研究がなされている。特に、ラットの系列学習では、前試行までに与えられた項目の記憶が弁別手がかりとなるという項目間連合を強調する Capaldi (1967, 1994) の記憶弁別理論と与えられた系列の法則構造が学習されるという Hulse (1978) の法則符号化理論の対立が有名である。各理論の特徴や両者の対立については、矢澤 (1986, 1992, 1998) に詳しく論じられている。人間の系列学習では、項目間連合を重視する理論がまず盛んに議論され、系列位置学習は当初はあまり重きを置かれていなかったことは先に述べた。ラットの系列学習研究でも歴史的に見ると、状況は非常に似ている。

初期の頃に良く研究されたのが、報酬 (R) 試行と無報酬 (N) 試行が1試行ずつ規則的に交替する単一交替系列 (RNRNRNRN) である。単一交替系列では、ラットは報酬試行での走行が速く、無報酬試行では遅く走行するという各試行の報酬結果を正しく反映する遂行が得られる (Capaldi, Veatch, & Stefaniak, 1966; Tyler, Wortz, & Bitterman, 1953)。この走行反応の分化は、先行する報酬結果 (RかN) が後続の報酬結果 (NかR) と連合するという項目間連合で説明が可能である。同様に、第

1 試行位置は R、第 2 試行位置は N というように試行位置と報酬結果を連させるという系列位置学習でも説明できる現象である。単一交替系列に関わらず、毎日同じ項目を同じ順序で提示する場合には、項目間連合と系列位置学習を分離することは難しい。しかし、単一交替系列においてもある日は RNRNRNR、別の日は NRNRNRNRN というように各日で異なる報酬結果から始めれば、項目間連合のみで系列を学習することが確認できる。Koteskey & Hendrix (1971) は、このような場合にも交替行動が生じたことを報告し、系列位置に関する情報がなくても系列が学習されることが示されている。

本来は部分強化の説明理論として対立していた 2 つの理論である Amsel (1958, 1972) のフラストレーション理論と Capaldi (1967) の記憶弁別理論を検討しようとして行われた研究であるが、結果的には直線走路で系列位置学習をうまく示した最初の実験として Wike & King (1973) がある。彼らは、走路で 45mg ペレットと 500mg ペレットの 2 種類の報酬強度が異なる報酬試行に無報酬を加えた 3 試行系列をラットに提示した。ラットは、3 試行にわたり報酬強度が徐々に増加する上昇系列群 (0-45-500)、徐々に減少する減少系列群 (500-45-0)、ランダムに提示されるランダム系列群の 3 群に分けられて訓練が行われた。その結果、上昇系列群と減少系列群では、報酬量に即した適切な走行パターンが示された。消去期では報酬が与えられないことを除けば、原訓練と同じ 3 試行手続きが実施されたが、3 試行系列訓練で確立された走行パターンは消去期でも維持された。彼らは、減少系列よりも上昇系列の方が消去抵抗が高かったことを、Amsel のフラストレーション理論の予測とは一致しないとして、Capaldi の記憶弁別理論から説明している。このように Wike & King の主たる関心は消去抵抗の強さにあったが、彼らの研究において消去時にも習得時の走行パターンが維持されていたことは非常に重要である。消去時にはすべて無報酬の系列が与えられるのであるから、消去期でも訓練期の走行パターンが維持されたことが項目間連合では説明できない。これに対して、系列位置が学習されているとすれば、訓練期と消去期では各試行の系列位置が変わらないので、消去期にも訓練期の走行パターンが維持されることを容易に説明できるのである。

Wike & King (1973) の研究の 10 年後に発表された Roitblat, Pologe, & Scopatz (1983) の実験は、系列学習の説明理論として当時対立していた Capaldi (1967) の記憶弁別理論と Hulse (1978) の法則符号化理論の検討を試みたものであった。彼らの実験 4 では

14-7-3-1-0 系列 (数字は各試行での報酬ペレット数を示す) の原訓練によって走行パターンが完成した後、ある試行のみを無報酬 (0 ペレット) にした系列 (0-7-3-1-0 or 14-0-3-1-0 or 14-7-0-1-0 or 14-7-3-0-0) のいずれかに系列を転移しても、走行パターンは維持されていた。系列の転移によって原学習での項目間連合と法則構造のいずれもが崩れたことになる。したがって、転移でも走行パターンが維持されたという結果は Capaldi (1967) の記憶弁別理論と Hulse (1978) の法則符号化理論のいずれによっても説明できない。原訓練と転移で変わっていないのは各試行の系列位置だけであり、Roitblat et al. の実験 4 は、ラットが系列位置を学習することを示していることになる。

このように、Wike & King (1973) と Roitblat et al. (1983) の研究にラットにおける系列位置学習研究の兆しを見ることが出来る。しかし、当時において系列学習をリードしていたのは Capaldi の記憶弁別理論と Hulse の法則符号化理論であった。人間の系列学習研究と同様にラットの場合にも系列位置学習が研究の表舞台に上がるのはもう少し後のことになる。

3. Burns の系列位置学習研究の登場: Burns, Wiley, & Payne (1986)

近年、ラットの系列位置学習に関する研究を精力的に進めているのは Burns である。現在でも、系列学習に関わらずラットの学習実験では報酬としてペレットが用いられるのが一般的である。これに対し Burns は、当初は様々な学習場面で報酬としてサッカロースを用い、ペレットを用いた実験で得られた結果との違いについて一連の研究を進めていた (eg., Burns, 1976, 1984; Burns, & Wiley, 1984)。その一環として、Burns, Wiley, & Stephens (1986) は、サッカロースとペレットを報酬とする系列学習に関する実験を行っている。彼らは、ラットに RNR 系列と RNN 系列を与え、各系列の第 3 試行に先行して視覚手がかりや触覚手がかりを与える群と与えない群を比較した。その結果、手がかりを与えた群は与えない群よりも RNR 系列の第 2 走行で遅く走り、両群とも RNN 系列の第 2 走行ではさらに遅く走っていたことを報告している。この実験がきっかけとなり、Burns の関心は系列学習に移っていったようである。

Burns による本格的な系列学習研究として、Burns, Wiley, & Payne (1986) が挙げられる。当時系列学習の中心にあったのは Capaldi (1967) の記憶弁別理論であり、特に Capaldi, Nawrocki, & Verry (1983) は、

隣接している項目間に連合が成立するだけでなく、ラットは当該走行中に将来の走行での報酬を予期するという遠隔連合の可能性を示していた。Capaldi et al. は、実験1で2つの3試行系列であるRNR系列とRNN系列を毎日固定順序で訓練した。その結果、両系列ともラットは報酬(R)試行での走行が速く、無報酬(N)試行での走行が遅いという報酬結果に即した走行をした。ここで注目すべきは、同じ無報酬試行でもRNN系列よりもRNR系列の第2試行で速く走るという結果が得られたことである。この結果から、Capaldi et al. はRNR系列の第2試行の開始時にラットは、第2試行のNだけでなく、第3試行でのRも予期するので、Nのみが検索されるRNN系列よりも速く走るという遠隔連合を考えている。

これに対し、Burns, Wiley, & Payne (1986) は、第2試行における走行の分化は、将来(第3試行)の報酬事象に対する予期というよりも、第2試行と第3試行の位置の手がかりに対する弁別間違いであるという可能性を挙げた。その根拠になったのは、訓練の進行に伴って、RNR系列とRNN系列の第3試行における走行の差は大きくなり、走行の分化が発達するのに対し、両系列の第2試行の走行の差は逆に減少するという結果であった。

Burns et al. (1986) の実験1では、Capaldi et al. (1983) の実験1と同様に、RNR系列とRNN系列が用いられた。Capaldi et al. では2つの系列間の間隔(系列間間隔)が20-30分、系列内の試行間の間隔(試行間間隔)はすべて30秒であった。これに対しBurns et al. (1986) は、40分の系列間間隔を用いたことに加え、通常は試行間を分ける短い間隔に代えて長い間隔(10分)を2つの系列の第2と第3試行間に入れた(RN-R/RN-N; / は40分の系列間間隔、-は10分の試行間間隔を示す)。なお、第1試行と第2試行間の試行間隔は30秒であった。時間的手がかりによって第2試行と第3試行の位置を区別することは、第2と第3試行間のより良い弁別を生み出し、2つの系列における第2試行における走行の差を減少させると予測された。得られた結果は、この予測に一致するものであった。

Burns et al. (1986) の実験2では、訓練の最初から系列内のすべての間隔が10分か30秒のいずれにおいても、RNN系列よりもRNR系列の第2試行で速く走り、Capaldi et al. (1983) が指摘する項目間予期が得られていた。このことから、実験1でRNN系列とRNR系列の第2試行における走行差が示されなかったことは、第2試行と第3試行の間隔を長くしたことによって系列内における第2試行と第3試行の順序的位置の弁別がな

されたことによると考えられる。つまり、系列内の項目に対する系列位置学習が強調されている。

また、Burns et al. は、遂行が系列位置刺激に基づいて説明されることは、ハトを用いたCouvillon, Brandon, Woodard, & Bitterman (1980) や Straub & Terrace (1981) の研究で見られる以外は動物実験ではあまり行われていないのに対し、人間の系列学習の分析では位置仮説は非常に重要であるとみなされていること(Bower, 1971; Ebenholtz, 1972)を指摘している。さらに、系列学習を含む多くの場面で位置の手がかりが行動をコントロールする強力な源であることを示唆している。

4. Burnsの系列位置学習研究の展開(1): Burns, Dunkman, & Detloff (1999)

Burns et al. (1986) の研究の後、彼らは位置学習の研究をそのまま進めていったかというところではなかった。その後の彼らの研究の中心は、計数研究へと一時向かうことになる(eg., Burns & Sanders, 1987; Burns & Nesbitt, 1990; Burns, Goettl, & Burt, 1995)。その根底には、Burns, Hubert, & Cribb (1990) が指摘しているように、動物の系列学習には数的過程によって媒介される過程が含まれるという考えがある。しかし、彼らの計数研究に関しては場を改めて検討することにして、本論文ではBurnsの系列位置学習に直接焦点を当てた研究を追跡していくことにする。

Burns et al. (1986) 以後に発表された位置見解を支持する非常に挑発的で興味ある研究は、Burns, Dunkman, & Detloff (1999) の研究である。Burns et al. (1999) の研究は、項目間連合を主張するCapaldi & Miller (1988a) に対する反論として行われたので、まずCapaldi & Millerの実験を見ることにする。Capaldi & Millerは、Capaldi et al. (1983) の実験ではRNR系列とRNN系列の2つの系列が毎日固定した順序で与えられていることから、項目間連合と共に位置学習の可能性が混在していたことに注目した。そして、位置学習の可能性を排除するために、2つの系列の提示順序をランダムにした。この場合、系列位置だけを弁別手がかりにした場合には、ラットはどちらの系列でも第1試行はRであるので第1試行で速く走り、両系列とも第2試行はNであるので走行が遅く、第3試行は50%の不規則強化となるので速く走ることが予測される。重要なことには、位置学習ではRNN系列よりもRNR系列の第2試行で速く走るといことは見られなくなる。一方、Capaldi & Millerは、項目間連

合に基づいて系列が学習できるように、ペレット (X)、コーン (Y)、ハニースマック (Z) という3種類の異なる報酬を強化試行 R に用いた。そして、Capaldi et al. (1983) や Burns et al. (1986) の実験で用いた RNR 系列と RNN 系列に基づいて、XNY 系列 (第1, 3 試行が強化試行で第2 試行が無強化試行) と ZNN 系列 (第1 試行のみが強化試行) の2 系列を用いた。この2 系列をランダムな順序でラットに提示したところ、両系列で報酬結果に一致する走行が示されたことに加えて、ZNN 系列よりも XNY 系列の第2 試行で速く走るという Capaldi et al. と同様な結果が得られている。この結果から、Capaldi & Miller は、ラットは第1 試行が Z であればそれは ZNN 系列であり、第1 試行が X であれば XNY 系列であることを弁別して走行しているとして、項目間連合を強調している。

Burns et al. (1999) は、Capaldi & Miller (1988a) が用いた3 種類の報酬に加え、走路手がかりを系列弁別手がかりとして用いた。ラットは、荒い白い床の白走路で XNY 系列を受け、なめらかな黒い床の黒走路で ZNN 系列を与えられるという原訓練を30 日間受けた。なお、系列順序はランダムであり、系列順序からはどちらの系列が行われているかは分からないようにされた。実験の結果、灰色走路で XNY 系列と ZNN 系列を与えた Capaldi & Miller の報告と同様に、報酬結果に一致した走行パターンが得られ、また ZNN 系列よりも XNY 系列の第2 試行での走行が速いことも示された。

しかし、Burns et al. (1999) は、Capaldi & Miller (1988a) とは異なり、30 日の原訓練後に転移を行った。転移では、まず31 日目に黒走路で XNY 系列、白走路で ZNN 系列を与えるというように走路と系列の関係を逆転した。その結果、ラットは転移前と同様に、黒走路では速一遅一遅、白走路では速一遅一速という走行を示した。転移前後で位置手がかりは同じであるが、項目手がかりは変化しているので、この結果は、転移後の反応が位置手がかりによって統制されていることを示している。また、32 日目から36 日目に白走路で XNY 系列、黒走路で ZNN 系列という原訓練を再び行った後、37 日目に第2 転移として白走路で ZNY 系列、黒走路で XNN 系列というように両系列の第1 試行の報酬種類だけを変えた。しかし、原訓練で得られた走行パターンが崩れることはなかった。さらに、Burns et al. の実験2 では、白走路で XNY 系列、黒走路で ZNN 系列という実験1 と同じ原訓練を32 日間行った後、33 日目にすべて無報酬の NNN 系列に転移された。この NNN 系列への転移においても、ラットは白走路では速一遅一速、黒

走路では、速一遅一遅という原訓練と同じ走行パターンを示していた。このようにどのような転移がなされても、ラットは原訓練での走行パターンを維持していた。転移前後で位置手がかりは同じであるが、項目手がかりは変化しているので、Burns et al. は、転移後の走行が位置手がかりによって統制されていることを結論づけている。

ここで、興味深いのは、Burns et al. (1999) の実験2 と本論文の第2 節で触れた Wike & King (1973) の実験との類似である。Wike & King の実験では、報酬強度の上昇系列群と減少系列群の両群共が訓練で確立された走行パターンを消去期でも維持していたことが得られていた。Burns et al. の実験2 における NNN 系列への転移はまさに Wike & King が行った消去訓練と同じものであり、一旦形成された走行パターンは転移によっては崩れないこと、つまり位置学習の重要性が Burns et al. の約25 年前に Wike & King の研究で示唆されていたことになる。

5. Burns の系列位置学習研究の展開 (2) : Burns, Kinney, & Criddle (2000)

すでに指摘したように、Burns et al. (1999) の研究は、項目間連合を主張する Capaldi & Miller (1988a) に対する反論として行われた。Burns et al. (1999) の次に発表された重要な研究は Burns, Kinney, & Criddle (2000) であるが、彼らの研究は報酬記憶による項目間連合を示した Capaldi, Alptekin, Miller, & Birmingham (1997) に対する反論として行われた色合いが強い。

これまでに本論文で触れた研究では、RNR 系列と RNN 系列 (Capaldi et al., 1983; Burns et al., 1986) や XNY 系列と ZNN 系列 (Burns et al., 1986, 1999; Capaldi & Miller, 1988a) のように、同じ試行数からなる2 つの系列が用いられていた。2 つの系列内の各試行数が同じである場合には、位置と項目間連合が混在してしまう。そこで、Capaldi et al. (1997) は、位置学習の多くの証拠 (eg., Burns et al., 1986, 1999) はこのような混在された実験から得られているとして、試行数の異なる複数の系列を提示することによって、位置と項目間連合を巧妙に分離した。

Capaldi et al. (1997) の実験1 では、項目適切群と位置適切群の2 群が比較された。項目適切群は、灰色走路で毎日3 つの系列、SN 系列、PSN 系列、PPSN 系列をランダムに受けた (S はサッカーコース、P はペレット、N は無報酬を示す)。この群では、S 試行に必ず N 試行が続き、直前項目 S が N に対する信頼ある信

号になる。しかし、ある系列では第2試行がN試行であり、別の系列では第3試行がN試行であるというように、試行位置と報酬結果は一定ではない。もう1つの群である位置適切群は、PPN系列、PSN系列、SSN系列、SPN系列をランダムに受けた。この群では、どの系列でも第3試行はN試行であったが、Pの後にPやSやNがそれぞれ続くことがあり、項目間連合では報酬結果は予測できない。訓練の結果、両群とも報酬が与えられるP試行とS試行では速く走っていたが、項目適切群がN試行で遅く走ったのに対し、位置適切群はN試行での走行は遅くならなかった。この結果は、位置学習では説明できず、項目間連合を支持する結果であった。さらに、Nが新奇な位置にある系列(PPPSN)に転移すると、項目適切群ではすぐにNに対する遅い走行が生じたが、位置適切群ではそのような結果は示されず、位置学習ではなく項目間連合が学習されたことが確認されている。

Capaldi et al. (1997)の実験2では、項目手がかりも位置手がかりも適切であるPSN系列で訓練された群と、SN系列、PSN系列、PPSN系列の3系列を受けるという項目手がかりだけが有効であった群が比較された。実験の結果、記憶と位置の両者が有効で訓練された群と記憶だけが有効で訓練された群には遂行の違いがなく、位置手がかりが学習には関与していないことが示唆されている。

Burns et al. (2000)は、以上のCapaldi et al. (1997)の結果に対し、実験1での試行数が異なる系列で示された最終N試行の遅い走行は項目間連合で説明できるとしても、実験2において位置手がかりの有無で差がなかったことから位置学習がなされていないとは言えないのではないかという疑問を挙げた。そして、位置手がかりが有効である条件下で報酬記憶の有効性を操作できる系列を用いて、Burns et al. (1999)やWike & King (1973)が行ったのと同様なNNN系列への転移が行われた。記憶固定群は、最初の報酬種類が2番目の報酬種類を信号し、2番目の報酬種類はNを信号するというPSN系列で訓練された。ここで各系列とも3試行からなっているので、各試行に連合した位置手がかりがその試行の報酬種類に対する有効な信号となる。もう1つの群である記憶変動群は、第3試行は常にN試行であるが、第1と第2試行の報酬の種類は系統的に変えられる群であり、PSN系列、SSN系列、PPN系列、SPN系列がランダムに与えられた。32日間の訓練の後に33日目に両群に対してNNN系列が与えられるという転移が行われた。転移でも最初の2試行で速く第3試行で遅いという走行パターン

が維持されれば、位置手がかりの証拠となり、転移で報酬の種類が変わったときに走行パターンの変化が起きれば、項目間連合の証拠となると考えられた。

実験の結果、訓練期では、両群とも第1・2試行の報酬試行では速く走り、第3試行のNでの走行のみが遅いという報酬結果に即した走行が得られた。さらに、転移でも訓練時と同様に第3試行の走行は第1・2試行よりも遅く、両群のラットは訓練時に獲得した走行パターンを維持していた。もし走行パターンが項目間連合のみに基づいて学習されたのであれば、転移での報酬種類の変更は走行パターンの変化を生じさせるはずであったが、そのようなことは示されなかった。

Burns et al. (2000)の実験2では、さらにNNN系列への転移だけでなく、SSS系列やPPP系列への転移を調べている。実験1ではNNN系列の転移で第3試行のみが遅いという結果が得られたが、第3試行はN試行が2試行連続した後の試行であるので、第3試行の遅い走行が消去結果を反映したものではないことを確認するために実験2が行われた。38日間の訓練ではSNP'系列とPNP'系列が与えられ(SとS'はそれぞれサッカロス4個と8個、PとP'はペレット4個と8個、Nは無報酬を示す)、その後、39・40日目にNNN系列、SSS系列、PPP系列へのいずれかに転移された。その結果、訓練期に示された速-遅-速という走行パターンはどのような系列に転移されても維持され、位置学習が成立していたことが示された。

以上のように、実験1、2とも転移の結果は項目間連合ではなく、位置学習を支持するものであった。しかし、実験1で第3試行のN試行での遅い走行が示されたのは、第1・2試行の報酬種類が変えられた記憶変動群よりも、報酬種類と位置が完全に関連していた記憶固定群の方が早かった。変化する報酬記憶(PSN、SSN、PPN、SPN)で訓練された群は、各種類のうちの1つの報酬試行の記憶が次の報酬試行を信号し、2つの報酬試行に関する記憶が無報酬を信号するということを学習するという難しい記憶弁別をしなくてはならない。これに対し、PSNで訓練された群は常にPがSを、SがNを信号することになり、報酬記憶の弁別が容易であったことから、Burns et al. (2000)は、系列学習において位置学習が優位であると考えていたが、項目間連合も認めているのである。

6. Burnsの系列位置学習研究の展開(3): Burns & Criddle (2001)

前節で検討した Capaldi et al. (1997) と Burns et al. (2000) の研究は、それぞれの立場を支持する結果を報告している。しかし、両者が報告した結果の間には矛盾があることも確かである。Capaldi et al. の実験 1 では、PSN 系列、SSN 系列、PPN 系列、SPN 系列をランダムに与えられ、位置だけが手がかりであった群は、訓練終了時まで N 試行である第 3 試行で遅く走ることにはなかった。これに対し、Burns et al. の実験 1 では、PSN 系列、SSN 系列、PPN 系列、SPN 系列がランダムに与えられ、位置だけが手がかりであった群は、第 3 試行の N 試行での走行のみが遅いという走行パターンが獲得されていた。Burns & Criddle (2001) は、この両者の結果の食い違いについて、Capaldi et al. (1997) では 18 日間、Burns et al. では 32 日という両者の訓練期間の違いに注目した。訓練初期では各試行でのラットの走行時間はまだ安定していないので、実験者が試行間隔を一定に保っていても、第 1 試行の開始から第 3 試行の開始までの時間はかなり変動する。これに対し、訓練後期では各試行でのラットの走行が安定するので、第 1 試行の開始から各試行の開始までの時間はほぼ一定となる。つまり、第 1 試行からの時間経過が位置手がかりとして用いられているのであれば、この手がかりは訓練初期では有効ではなく、訓練後期では有効に機能することが仮定される。

そこで、Burns & Criddle (2001) は、ラットを 3 試行系列 SNP 系列で訓練し、訓練初期の 19 日目に NNN 系列に転移する群と訓練後期の 39 日目に転移する群を比較した。もし系列位置に関与する手がかりが時間的なものや反応によるものであれば、位置効果は訓練の初期ではなく、SNP 系列で速一遅一速という一貫した走行パターンが確立した後期で生起することが期待される。実際、19 日の訓練後にはラットは系列の N 試行で遅い走行を示したが、走行時間は安定せず、系列の最初の試行の開始から第 2 試行、第 3 試行までの経過時間も一定ではなかった。しかし、両訓練レベルで示された第 1 試行や第 3 試行よりも第 2 試行での走行が遅いという SNP パターンは NNN 系列への転移でも維持されていた。したがって、時間間隔と反応時間が変動しても一定でも位置学習が示されたことになり、時間や反応手がかりが位置学習に対して重要ではないことが分かる。また、SNP 系列で N の記憶が P を予期するのであれば、NNN 系列への転移では 3 試行とも速い走行を生じさせることが予測されるが、そのような結果は得られていない。Burns & Criddle の実験は、訓練期間にかかわらず位置学習がなされることを示しているが、18 日

間の訓練では位置学習がなされなかったという Capaldi et al. (1997) の結果がなぜ得られたかに関する明確な回答は得られないままである。

7. Burnsの系列位置学習研究の展開(4): Burns, Johnson, Harris, Kinney, & Wright(2004)

Burns & Criddle (2001) は、訓練初期と訓練後期を比較することによって位置学習における時間的な手がかりは重要ではないことを示してはいたが、彼らの実験は厳密に時間的要因を統制したものではなかった。直接的に時間の影響を検討したのは、Burns, Johnson, Harris, Kinney, & Wright (2004) である。彼らは実験 1 において SNP 系列で安定した走行パターンが得られるまでラットを訓練した。その結果、第 1 試行と第 3 試行開始までの時間が第 2 試行の開始までよりも平均して 74 秒長いことが分かったので、系列は SNP のままで第 1 試行から第 2 試行開始までの時間を 74 秒としてさらに訓練を続けた。ラットが第 1 試行から 74 秒経過したことを第 3 試行の弁別手がかりとして用いているのであれば、第 2 試行の走行はそれまでの第 3 試行のように速まることが予測された。しかし、そのようなことは見られず、速一遅一速という SNP 走行パターンは維持されていた。また、別の群は SPN 系列から NNN 系列に転移されたが、Burns & Criddle (2001) と同様に NNN 系列への転移でも SPN 走行パターンは維持され、位置学習の成立が確認されている。しかし、第 1 試行と第 2 試行間の試行間隔を 74 秒として NNN 系列に転移した群では、SNP 走行パターンは崩れ、第 2 試行での遅い走行は得られず、第 1 試行から第 3 試行まで比較的速い走行が示された。この結果は、SNP 系列で N の記憶が P 試行の信号となっているという項目間連合から説明できる。NNN 系列では第 2 試行で N の記憶が生起するので、ラットは P 試行を予期して速く走ったと言える。このように、転移によって時間的要因と項目間連合の両者が変更された時には、項目間連合が優位になる可能性がある。SNP 系列で第 1 試行と第 2 試行間の試行間隔を 74 秒に延長するという転移によっては SNP 走行パターンは維持されること、第 1 試行と第 2 試行間の試行間隔を 74 秒に延長した NNN 系列への転移では SNP 走行パターンが崩れることは、報酬記憶が時間とはリンクしていないという仮定 (Capaldi, Nawrocki, Miller, & Verry, 1986) に基づけば、項目間連合から説明することもできる。

Burns et al. (2004) は、実験 2 で SNP 系列から

NP 系列や SSNP 系列の転移というような試行数の異なる系列への転移の影響を検討している。このような試行数が異なる系列への転移はすでに Capaldi & Miller (2001) が行っている。Capaldi & Miller は、項目と位置の両者の学習が可能である PSN 系列で訓練したラットを SN 系列や PPSN 系列に転移している。その結果、ラットは転移系列の N 試行に対する走行のみが遅く、他の試行に対する走行は速かった。もしラットが PSN 系列の位置のみを学習すれば、第 3 試行は訓練時にはいつも無報酬であったので、転移での PPSN 系列の S 試行に対する走行が遅くなっただけである。これらの結果から、Capaldi & Miller は、ラットは PSN 系列において項目 S が項目 N を信号することを学習したことによって、SN 系列、PPSN 系列での N 項目に対する走行が遅くなったことを項目間連合の観点から説明している。また、SN 系列、PSN 系列、PPSN 系列をランダムに与えるという項目間連合による学習のみが可能な群は、PSN 系列への転移でも N 試行での遅い走行を得ており、項目間連合が示されている。

これに対し、Burns et al. (2004) は、Capaldi & Miller (2001) が用いた PPSN 系列のように N 試行を最終試行に置くよりは、系列の真ん中に置いた方が N 試行に P 試行などの他の試行を後続させることができ、N の記憶の効果も測定できると考えた。また、Capaldi & Miller の実験では、同じラットに 1 日のテスト日ですべての転移系列を与えていたのに対し、異なるテスト系列に転移する群を設けて比較した。具体的には、Burns et al. の実験 2 では、SNP 系列で訓練した後に SSNP 系列に転移する群、NP 系列へ転移された群、そのまま SNP 系列で訓練が続けられた統制群の 3 群が比較された。その結果、SNP 訓練では、これまでの多くの研究 (eg., Burns & Criddle, 2001; Capaldi & Miller, 2001) と同様に速-遅-速という走行パターンが形成された。SSNP 転移群では第 1 試行の走行が速かったが、S 試行である第 2 試行での走行が遅く、N 試行である第 3 試行の走行が速かった。これは、SNP 系列で位置学習がなされていたことを示す結果である。一方、項目間連合によれば、SNP 訓練で S の記憶が N の予期を引き起こすので、SSNP 転移系列において S 試行に後続する試行である第 2 試行と第 3 試行で遅い走行を生じさせるという予測が成り立つが、得られた結果はこの予測とは一致しない。しかし、SNP 系列で位置学習だけが生起していたのであれば、SSNP 群の第 3 試行の走行は SNP 統制群の第 3 試行と同様に速くなるはずであったが、第 3 試行の走行は SSNP 群の方が遅く、位置学習に加えて S の記憶

が N の予期を引き出すという項目間連合も機能していたことを示している。また、NP 系列の第 2 試行 P は第 1 試行 N よりも遅かったことは位置学習を示しているが、NP 系列の第 2 試行は SNP 統制群の第 2 試行 N よりも速かった。また、SSNP 群の第 4 試行 P で速い走行が見られたことは、ラットは転移前には第 4 試行は経験していなかったため、位置学習では説明できない。Burns et al. (2004) は、これらの結果について、位置学習と共に項目間連合が働いたことを一部で認めている。

8. Burns の系列位置学習研究の展開 (5) : Burns, Racey, & Ratliff (2008)

ここまで見てきたように Burns の研究は、系列学習が位置学習によるのか、あるいは Capaldi が主張するような項目間連合によるのかについて焦点を当てたものがほとんどである。その一方で、Burns は、位置学習における位置情報としてどのような刺激が重要であるかの検討も行っている。Burns & Criddle (2001) や Burns et al. (2004) の実験 1 では、時間的な要因が調べられ、第 1 試行からの経過時間が位置情報の手がかりとはなっていないことが報告されていた。Burns et al. (2000) は、位置情報として系列位置の時間的要因、位置の計数、位置ごとに異なる反応生起手がかり、反応パターンなどを挙げている。

反応生起手がかりや反応パターンに関して、古くは Lashley (1951) によって、系列学習では各反応が運動系列に組織化されることが提唱されている。Schwartz (1982) はこの Lashley の考えを発展させ、組織化された行動パターンを行動ステレオタイプと呼んだ。そして、反応の結果に変化が生じて、行動ステレオタイプは強固であることを示唆している。これまで SNP 系列では速-遅-速という規則的な走行パターンが形成され、NNN 系列などの他の系列に転移されても、このパターンは維持されることが報告されているが (e.g., Burns & Criddle, 2001; Capaldi & Miller, 2001)、このような結果を反応パターンという観点から説明することができるかについても検討する必要がある。

Burns, Racey, & Ratliff (2008) は、系列学習における反応パターンの影響を詳しく研究しているが、その先駆けとなったのは、Burns et al. (2004) の実験 4 である。この実験では、まず RNR 系列の訓練が行われた。なお、実際にはある特定の報酬種類が特定の報酬結果を予測することができないように、R としてはサッカー 4 個と 8 個の S、S'、ベレット 4 個と 8 個の P と P' の 4

種類がランダムに用いられた。訓練で速-遅-速パターンが確立した後に、RNR系列の第1と第2試行のいずれかでラットを走行させずに直接目標箱に留置し、反応させないで報酬結果を与えた。その結果、第1試行で留置が行われても第2試行の遅い走行が崩れることはなく、第2試行で留置が行われても第3試行の速い走行は崩れなかった。この結果は、反応がなくても位置効果が得られることを示しており、位置学習は反応パターンの結果ではないことを示唆している。

Burns et al. (2008) は、系列の転移についても目標箱留置という手続きで検討している。Burns et al. は、26日間にわたる訓練でBurns et al. (2004) が用いたRNR系列を1日3回提示した。その際に、走行なしで出発箱から取り出されて直接目標箱に入れられるという目標箱留置が、各系列のうちのランダムな1試行で行われた。その後の転移では、目標箱留置なしでNNN系列が1日3試行与えられた。その結果、RNR系列ではどこかの試行で留置がなされたのにも関わらず、速-遅-速パターンが獲得され、その走行パターンはNNN系列に転移されても維持されていた。さらに、26日にわたり目標箱留置なしでRNR系列を1日3回与えるという訓練を行った後に、NNN系列のどこかの1試行でランダムに留置を行ったが、速-遅-速という走行パターンは訓練でも転移でも得られていた。訓練期の走行パターンが転移でも維持されることは、目標箱留置が行われていない多くの研究 (e.g., Burns et al., 1999, 2000) でも報告されていることと一致する。つまり、反応手がかりがなくても位置学習が成立することがわかる。

9. おわりに

ラットの系列学習研究は、1980年代は矢澤 (1986, 1992, 1998) で検討されていたように、項目間連合を主張するCapaldiと系列の法則構造に焦点を当てていたHulseが激しく対立していた。本論文で見てきたように、1980年代後半以降はCapaldiと系列位置学習を主張するBurnsとの対立へ対立構造は変化してきた。両者が実験に良く用いているRNR系列、RNN系列、SNP系列などの試行順序と報酬結果が固定された系列では、項目間連合と位置学習は常に混在してしまうという問題がある。Couvillon et al. (1980) は、位置と記憶の両者が有効である時には両者が行動に影響することを報告している。しかし、項目間連合を支持する実験では位置学習を完全に除外していないことが多く、その逆もまたそうである。結果の不一致から、位置学習には多

くの訓練が必要であるのに対し、報酬記憶学習は速やかに成立することが指摘されたこともある (eg., Capaldi et al. 1997)。Neath & Capaldi (1996) は、食物報酬記憶は空腹なラットでは特に顕著であり、この記憶は位置手がかりよりも遂行に対するより大きなコントロールを獲得すると考えている。また、Capaldi & Miller (2004) によれば、系列課題において弁別反応を媒介するのは位置手がかりと項目手がかりのいずれであるかということは適切な問題ではなく、位置手がかりよりも項目手がかりが有力になるのはどのような状況か (あるいはその逆) が重要であると言う。

しかし、本論文で見てきたように、項目間連合と位置学習をうまく分離できる手続きが次々と考案されてきたのも事実である。その1つがBurns et al. (1999) の転移実験である。訓練系列から別の系列に転移しても、訓練系列で獲得された走行パターンが維持されるという結果は、項目間連合では説明できず、位置学習が成立していることをうまく示していた。これに対し、Capaldi et al. (1997) は、SN系列、PSN系列、PPSN系列というような試行数が異なる複数の系列を提示することによって、位置ではなく項目間連合を用いたときのみ系列の予測ができることを報告した。Capaldi & Miller (2001) は、項目間連合と位置の両者が報酬結果に完全に関連した系列で訓練し、その後項目間連合はそのまま系列の試行数を変えた系列に転移することを行っている。

項目間連合と位置を完全に分離した一番新しい研究は、Capaldi et al. (1997) とは逆に、項目間連合ではなく位置手がかりのみが系列を予測するという手続きを用いたBurns et al. (2008) の実験2である。彼らの実験では、試行間間隔20秒、系列間間隔約20分で、RRN系列、RNN系列、NRN系列、NNN系列のうちの2系列が毎日ランダムに与えられた。この4系列は、第3試行は常にN試行であるが、第1試行と第2試行はN試行となるかR試行となるかの確率は共に50%である。したがって、ラットは項目間連合では第3試行のNを予測することはできなかった。しかし、第3試行のN試行での走行は遅く、項目位置に基づいて第3試行を予測するという位置学習が成立していた。その後の転移では、2つの系列を系列間間隔を試行間間隔と同様に短くして、RRNRNN系列、NRNNNN系列というように1つの6試行系列としてラットに提示した。その結果、2つの系列を分ける時間的な分節手がかり (長い系列間隔) が除去されて、2つの3試行系列が1つの6試行系列として提示されても、N試行である第3試行と第6試行での走行が他の試行よりも遅く、訓練期と同様な走

行パターンが転移期でも維持されていた。矢澤 (1990, 1991) や Yazawa & Fujita (1984) は、ラットの系列学習では長い時間間隔が系列を分ける分節手がかりとなることを報告している。また、Fountain, Henne, & Hulse (1984) は、時間的な分節手がかりが除去されると、チャンキングが崩れることを示している。これに対し、Burns et al. (2008) の実験 2 は、2つの3試行系列を分けている分節手がかりを除去した時にも、ラットは6試行系列の第6試行目を2つ目の系列の第3試行と見なしていたことになる。

本論文では系列学習における位置学習に着目して、Burns の研究の流れを Capaldi の研究と比較しながら検討してきた。1980年代以降におけるラットの系列学習研究は、位置学習以外にも、チャンキング (eg., Capaldi, Miller, Alptekin, & Barry, 1990; Cohen, Westlake, & Pepin, 2001) や計数 (e.g., Burns et al., 1995, Capaldi & Miller, 1988b) に焦点を当てて発展している。また、Hulse の共同研究者であった Fountain (2006, 2008) は最近では直線走路ではなく、一列に並んだレバーの位置で系列を提示するという人間の系列学習実験に近い実験状況を用いて、Hulse の系列符号化理論を発展させている。このような新しい研究の流れについては、機会を改めて詳しく検討することにしたい。

引用文献

- Amsel, A. (1958). The role of frustrative nonreward in noncontinuous reward situations. *Psychological Bulletin*, 55, 102-119.
- Amsel, A. (1972). Behavioral habituation, counterconditioning, and a general theory of persistence. In A. Black W. Prokasy (Eds.), *Classical conditioning II: Current theory and research* (pp. 409-426). New York: Appleton-Century-Crofts.
- Bower, G. H. (1971). Adaptation-level coding of stimuli and serial position effects. In M. H. Appley (Ed.), *Adaptation-level theory*, pp. 175-201. New York: Academic Press.
- Burns, R. A. (1976). Effects of sequences of sucrose reward magnitudes with short ITIs in rats. *Animal Learning & Behavior*, 4, 473-479.
- Burns, R. A. (1984). The goal units dimension in negative contrast failures with sucrose. *Journal of General Psychology*, 111, 9-23.
- Burns, R. A., & Criddle, C. R. (2001). Retention of ordinal position information with limited and extended serial training. *The Psychological Record*, 51, 445-452.
- Burns, R.A., Dunkman, J.A., & Detloff, S.L. (1999). Ordinal position in the serial learning of rats. *Animal Learning & Behavior*, 27, 272-279.
- Burns, R. A., Goettl, M. E., & Burt, S. T. (1995). Numerical discriminations with arrhythmic serial presentations. *The Psychological Record*, 45, 95-104.
- Burns, R. A., Hubert, L. G., & Cribb, D. (1990). A test for order relevance in a three-element serial learning task. *The Journal of General Psychology*, 117, 91-98.
- Burns, R. A., Johnson, K. S., Harris, B. A., Kinney, B. A., & Wright, S. E. (2004). Functional cues for position learning effects in animals. *The Psychological Record*, 54, 233-254.
- Burns, R. A., Kinney, B. A., & Criddle, C. R. (2000). Position cues and reward memories as compatible components of serial learning. *Learning & Motivation*, 31, 236-250.
- 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.
- Burns, R. A., Racey, D. E., & Ratliff, C. L. (2008). The roles of outcome and position associations in animal serial learning. *Learning and Motivation*, 39, 1-12.
- Burns, R. A., & Sanders, R. E. (1987). Concurrent counting of two and three events in a serial anticipation paradigm. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 25, 479-481.
- Burns, R.A. & Wiley, L.P. (1984). Interevent anticipation of liquid and solid sucrose rewards. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 22, 571-573.
- Burns, R. A, Wiley, L. P., & Payne, T. L. (1986). Temporal cuing of runs in series of reward events reduces interevent anticipation. *Animal Learning & Behavior*, 14, 190-196.
- Burns, R. A. Wiley, L.P., & Stephens, J. (1986). Interevent anticipation with external cuing of runs and sucrose rewards. *The Psychological Record*, 36, 101-107.
- Capaldi, E. J. (1967). A sequential hypothesis of instrumental learning. In K. W. Spence, & J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*. Vol. 1. New York: Academic Press.
- Capaldi, E. J. (1994). The sequential view: From rapidly fading stimulus traces to the organization of memory and the abstract concept of number. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, 156-181.
- Capaldi, E. J., Alptekin, S., Miller, D. J., & Birmingham, K. M. (1997). Is discriminative responding in reward outcome serial learning mediated by item memories or by position cues? *Learning and Motivation*, 28, 153-169.
- Capaldi, E. J., & Miller, D. J. (1988a). The rat's simultaneous anticipation of remote events and current events can be sustained by event memories alone. *Animal Learning & Behavior*, 16, 1-7.
- Capaldi, E. J., & Miller, D. J. (1988b). 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., Miller, D.J., Alptekin, S., & Barry, K. (1990). Organized Responding in Instrumental Learning: Chunks and Superchunks. *Learning and Motivation*, 21, 415-433.
- Capaldi, E. J., & Miller, R. M. (2001). Stimulus control of anticipatory responding in instrumental learning as revealed in serial learning tasks. *Animal Learning & Behavior*, 29, 165-175.
- Capaldi E.J., & Miller, R.M. (2004). Serial learning in rats: a test of three hypotheses. *Learning and Motivation*, 35, 71-81
- Capaldi, E.J., Nawrocki, T. M., Miller, D. J., & Verry, D.R.

- (1986). Grouping, chunking, memory, and learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 388, 53-80.
- Capaldi, E. J., Nawrocki, T. M., & Verry, D. R. (1983) The nature of anticipation: An inter- and intraevent process. *Animal Learning & Behavior*, 11, 2, 193-198.
- Capaldi E.J., Veatch R.L., Stefaniak D.E. (1966). Stimulus control of patterning behavior. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 61, 161-164.
- Cohen, J.S., Westlake, K., & Pepin, M. (2001). Higher order chunking in serial pattern learning by rats in the T-Maze. *Learning and Motivation*, 32, 409-433.
- Colombo, M., & Frost, N. (2001). Representation of serial order in humans: A comparison to the findings with monkeys (Cebus apella). *Psychonomic Bulletin & Review*, 8, 262-269.
- Couvillon, P. A., Brandon, S., Woodard, W. T., & Bitterman, M. E. (1980). Performance of pigeons in patterned sequences of rewarded and nonrewarded trials. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 6, 137-154.
- Crowder, R.G., & Greene, R.L. (2000). Serial learning: Cognition and behavior. In F.I.M. Craik & E. Tulving (Eds.), *Handbook of Memory* (pp. 125-135). Oxford, England: Oxford University Press.
- Ebbinghaus, H. (1885). *Über das Gedächtnis: Untersuchungen zur experimentellen Psychologie*. Leipzig: Duncker and Humboldt. [Reprinted as H. E. Ebbinghaus (1964). *Memory: A contribution to experimental psychology* (H. A. Ruger, & C. E. Bussenius Trans.). New York: Dover.
- Ebenholtz, S.M. (1963). Serial learning: position learning and sequential associations. *Journal of Experimental Psychology*. 66, 353-362.
- Ebenholtz S.M. (1972). Serial learning and dimensional organization. In G. Bower (ed.), *The psychology of learning and motivation*, pp. 267-314. New York: Academic Press.
- Fountain, S. B. (2006). The structure of sequential behavior. In E. A. Wasserman and T. R. Zentall (Eds.), *Comparative cognition: Experimental explorations of animal intelligence* (pp. 439-458). Oxford: Oxford University Press.
- Fountain, S. B. (2008). Pattern structure and rule induction in sequential learning. *Comparative Cognition & Behavior Reviews*, 3, 66-85.
- Fountain, S. B., Henne, D. R., & Hulse, S. H. (1984). Phrasing cues and hierarchical organization in serial pattern learning by rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 10, 30-45.
- 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, N. J: Erlbaum.
- Johnson. G. J. (1991). A Distinctiveness model of serial learning. *Psychological Review*, 98, 204-217.
- Koteskey, R. L., & Hendrix, M. M. (1971). Increased resistance to extinction as a function of double and single alternation and of subsequent continuous reinforcement. *Journal of Experimental Psychology*, 88, 423-428.
- Ladd, G. L. & Woodworth, R. S. (1911). *Elements of physiological psychology*. New York: Scribners.
- Lashley, K. S. (1951). The problem of serial order in behavior. In L. A. Jeffress (Ed.), *Cerebral mechanisms in behavior* (pp. 112-131). New York: Wiley.
- Neath, I., & Capaldi, E. J. (1996). A "random-walk" simulation model of multiple pattern learning in a radial-arm maze. *Animal Learning & Behavior*, 24, 206-210.
- Roitblat, H. L., Pologe, B., & Scopatz, R. A. (1983). The representation of items in serial position. *Animal Learning & Behavior*, 1983, 11, 489-498.
- Schwartz, B. (1982). Reinforcement-induced behavioral stereotypy: How not to teach people to discover rules. *Journal of Experimental Psychology: General*, 111, 23-59.
- Straub, R. O., & Terrace, H. S. (1981). Generalization of serial learning in the pigeon. *Animal Learning & Behavior*, 9, 454-468.
- 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, 37-65.
- Wike, E. L., & King, D. D. (1973). Sequences of reward magnitude and runway performance. *Animal Learning & Behavior*, 1, 175-178.
- Woodworth, R.S. (1938). *Experimental Psychology*. New York: Holt.
- 矢澤久史 (1986). ラットにおける系列学習研究の動向 (1) : S.H.Hulse と E.J.Capaldi の対立 東海女子大学紀要, 6, 171-181.
- 矢澤久史 (1990). ラットの強化パターン学習に及ぼす系列付加間隔の効果 心理学研究, 61, 314-321.
- 矢澤久史 (1991). ラットの強化パターン学習における分節化と試行間間隔との関係 心理学研究, 62, 24-30.
- 矢澤久史 (1992). ラットにおける系列学習研究の動向 (2) : 1980年代の展開 東海女子大学紀要, 12, 227-239.
- 矢澤久史 (1998). 部分強化, 系列パターン学習, チャンク : ラットにおける強化系列学習 心理学評論, 41, 372-388.
- Yazawa H., & Fujita, O. (1984). Reinforcement pattern learning : Do rats remember all prior events? *Animal learning & Behavior*, 12, 383-390.
- Young, R. K. (1961). The stimulus in serial verbal learning. *American Journal of Psychology*, 74, 517-528.
- Young, R. K. (1968). Serial learning. In T. R. Dixon & D. L. Horton (Eds.), *Verbal behavior and general behavior theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.