

ラットにおける系列学習研究の動向(2)

——1980年代の展開——

矢澤 久史

1. はじめに

前回の論文(矢澤, 1986)では、Hulse(1978)の系列符号化理論とCapaldi & Molina(1979)の記憶弁別理論の対立を中心に、1970年代終盤から80年代初頭における系列学習研究の動向を歴史的な背景をふまえて紹介した。その後、系列学習研究では80年代中盤から他の研究者も加わって、走行間隔、分節手があり、遠隔連合に関する問題に焦点を当てた論議が盛んになり、新たな展開が示されている。そこで、本論文ではこの3つの問題を中心に1980年代の10年を振り返り、系列学習研究の流れを検討したい。

2. 走行間隔に関する問題

(1)Hulse (1980) の二元論をめぐる検討

直線走路を用いた実験では、ラットは出発箱に入れられ、走路を走り抜けると目標箱で報酬用の餌ペレットが与えられる。そして、ペレットを食べ終わると取り出される。通常、以上の過程を「走行」と称し、ある走行が終了してから次の走行が開始されるまでの時間間隔を走行間隔(ERI: interrun interval)と呼ぶ(Hulse, 1978)。

Hulse & Dorsky (1977) は、第1走行で14ペレット、第2走行で7ペレット、以下3、1、0が与えられるという14-7-3-1-0系列を1日4回繰り返していたが、系列を1回与えることを「試行」、繰り返し間の時間

間隔を試行間隔(ITI: intertrial interval)と称していた。繰り返し間隔を保持間隔(Capaldi, Miller, & Nawrocki, 1986)、試行間の間隔を系列間隔(Capaldi, Nawrocki, Miller, & Verry, 1985)と呼ぶこともあるが、混乱をなくすために、本論文ではHulseの用語法にならうことにする。

ERIに関する問題が論議を集めるようになったのは、Hulse(1980)がCapaldi & Molina(1979)の研究では4分という長いERIが用いられていたことを指摘したのが始まりである。

Hulse (1978) は、単調減少系列14-7-3-1-0の方が非単調系列14-1-3-7-0よりも0ペレットに対する予期が優れるなどの結果から、ラットは与えられた系列の法則構造を符号化するという法則符号化理論を提唱した。しかし、Capaldi & Molina(1979, 実験2)は、単調減少系列20-10-0よりも非単調系列1-29-0の方が0ペレットの予期が良いことを示した。この結果から、Capaldi & Molinaは法則符号化理論を疑問視するとともに、系列学習は前試行のペレット数に対する記憶を弁別刺激とする弁別学習であるという記憶弁別理論を提出した。

これに対し、Hulse(1980)は、簡単な課題に関しては連合的なモデルが、難しい課題に対しては法則符号化理論が当てはまるという二元論を提出した(詳しくは、矢澤, 1986を参照)。ここで、簡単な課題とは、系列内の項目数が少なく、長いERIを用いてしかも1日の

試行数が少ない場合を言う。難しい課題とはこの逆に当たる。そして、Hulseは、Capaldi & Molinaの実験ではラットが系列を符号化するのに適さない手続きが用いられていたことを批判した。その批判の1つが、Hulse & Dorsky (1977, 1979) ではIRIが10-15秒であるのに対し、Capaldi & Molinaでは4分IRIが用いられていたことであつた。しかし、Hulse (1980) の論文では、4分というIRIがなぜ不適であると考えられるのかに関して明確な裏付けはなされていない。

Hulse (1980) の指摘に基づいてIRIの効果を検討した最初の研究が、Roitblat, Pologe, & Scopatz (1983) である。彼らはIRIに加えて1日の試行数にも着目した。これは、Hulse & Dorsky (1977) が10-20分のITIで1日に4試行から5試行行っているのに対し、Capaldi & Molinaの研究では1日に1試行しか行われておらず、試行数においても両者に違いが見られたことによる。

Roitblat et al. (1983) の実験1では、14-7-3-1-0系列を20-25分ITIで1日4試行行った場合、短い10-15秒IRIの群は0ペレット予期を示したのに対し、長い4-5分IRI群は0ペレット予期を示さないことが報告された。また、14-7-3-1-0系列を1日1試行与えた場合にも、1日4試行の場合と同様な結果が得られていた。つまり、系列学習にとってIRIの長さが重要な変数であり、1日の試行数は効果を持たなかった。この結果から、IRIの長さの増加に伴いラットが系列位置手がかりを利用することが困難になると考えられている。また、Roitblat et al. が示した結果は、Hulse & Dorsky (1977) が用いた10-15秒IRIとCapaldi & Molina (1979) が用いた4-5分IRIでは異なる系列課題が含まれていることを示唆しており、Hulse (1980) の二元論を支持するものであつた。

一方、Capaldi, Nawrocki, Miller, & Verry (1985, 実験3) は、長いIRIでは14-7-3-1-0系列と14-1-3-7-0系

列のいずれにおいても0ペレット予期が示されていないというRoitblat et al. の結果に対して疑問を投げかけた。その根拠となったのは、Roitblat et al. の実験では長いIRIばかりか短いIRI条件でも0ペレット予期が悪すぎることにあつた。実際、Hulse & Dorsky (1977) では短いIRIで14-1-3-7-0系列を受けた群は約40試行後に0ペレット予期を示しているのに対し、Roitblat et al. の実験では60試行の訓練を行っても0ペレット予期が得られていない。さらに、Roitblat et al. が被験体として用いたラットは実験開始時に7-8カ月齢と高齢である上に他のオペラント条件づけ実験の経験があり、実験には好ましくないものであつた。

そこで、Capaldi et al. (1985, 実験3) は、実験経験のない3カ月齢の若いラットを用いてRoitblat et al. の研究に対する検討を行った。その結果、長い5分IRIで1日1試行行った場合でも14-1-3-7-0系列よりも14-7-3-1-0系列の方が0ペレット予期が優れていた。つまり、Hulse (1980) によって法則符号化に不利な条件であると考えられていた長いIRI、少ない試行数においても、短いIRIと多い試行数を用いたHulse & Dorskyの実験と同様な結果が得られたのである。そこで、Roitblat et al. が報告した長いIRI群の結果があいまいなものであつたことが指摘され、Hulse (1980) の二元論も疑問視されることになった。

また、Haggbloom & Ekdahl (1985) の研究では、14-7-3-1-0系列を1日2試行提示した場合、0ペレット予期は長い4-5分IRI群よりも短い10秒IRI群の方で早く出現したが、32試行後には両者の差は消失したことが報告されている。この結果も、Capaldi et al. (1985) と同様、長いIRIでは14-7-3-1-0系列の0ペレット予期が示されないというRoitblat et al. の報告とは一致しない。

先に述べたように、Roitblat et al. の研究では、実験にあまり適さない被験体が用いられ、

訓練試行数もかなり多かった。しかし、Capaldi et al. (1985) や Haggbloom & Ekdahl の結果をふまえて考えると、Roitblat et al. の研究では 0 ペレット予期が示される前に訓練が打ち切れ、長い IRI では 14-7-3-1-0 系列と 14-1-3-7-0 系列には差がないと結論を急いでしまったような印象がもたれる。

以上の Roitblat et al. (1983)、Capaldi et al. (1985)、Haggbloom & Ekdahl (1985) の 3 研究は、Hulse (1980) によって法則符号化理論に適さないと見なされた長い IRI の効果を検討したものであった。一方、法則符号化理論に有利であると考えられていた条件を用いて、法則符号化理論を否定する結果を示した研究も報告されている。

Capaldi, Nawrocki, Miller, & Verry (1985, 実験 1) は、短い 15-20 秒 IRI と多い試行数 (1 日 4 試行、15 分 ITI) という Hulse & Dorsky (1977) が用いたのと同じ条件で 15-10-5-0 系列と 15-15-0-0 系列を比較した。その結果、Capaldi & Molina (1979, 実験 1) と同様に 15-10-5-0 系列よりも 15-15-0-0 系列の方が 0 ペレット予期が良かった。この結果は記憶弁別理論に一致し、系列符号化理論に矛盾するものであった。

さらに、Haggbloom & Brooks (1985, 実験 1) も、Hulse & Dorsky (1977) と同じ実験手続きを用いて、14-7-3-1-0 系列よりも 14-9-1-1-0 系列が 0 ペレット予期が優れることを見出し、系列符号化理論に疑問を投げかけ、記憶弁別理論を支持している。

以上のように、Hulse (1980) の二元論を支持した Roitblat et al. の実験結果は Capaldi et al. (1985, 実験 3) などによって問題視され、長い IRI 条件で 14-7-3-1-0 系列の 0 ペレット予期が見られることを示した Haggbloom & Ekdahl (1985) の研究、系列符号化理論に有利な条件においても記憶弁別理論が適用されることを示した Capaldi, et al. (1985, 実験 1) と Haggbloom & Brooks

(1985) の研究から、Hulse の示した二元論は否定されていったのである。

(2) 走行間隔の移行に関する問題

IRI に関して、Hulse の二元論に対する検討以外にも、訓練のある時期から IRI の長さを変更するという IRI 移行による効果をめぐって議論がなされている。

系列学習における IRI 移行の効果を初めて扱ったのも、Roitblat et al. (1983) である。彼らは、0 ペレット予期が完全に成立するまで、ラットに短い IRI で 14-7-3-1-0 系列を 1 日 4 試行与えた (実験 2)。その後、ラットに対する訓練を長い 20-25 分 IRI で 1 日 1 試行の訓練へと変更すると、0 ペレット予期が崩壊することが見出された (実験 3)。短い IRI から長い IRI への S-L (short-long) 移行によって 0 ペレット予期が崩れることは、初めから 1 日 2 試行を与えた Haggbloom & Ekdahl (1985) の研究によっても得られている。しかし、Haggbloom & Thomas (1987) は、1 日 1 試行場面では、短い 15 秒 IRI から長い 15 分 IRI への S-L 移行によって 0 ペレット予期が崩れなかったことを報告している。

1 日 1 試行の場合とそれ以外の場合での S-L 移行による結果が一致しない原因を直接に検討したのは、Capaldi, Miller, & Nawrocki (1986) である。彼らは、18-1-0 系列を用いて、0 ペレット予期は 1 日 1 試行提示の場合には 1 分から 30 分 IRI への S-L 移行の影響を受けない (実験 2) のに対し、15 秒 IRI で 1 日 3 試行 (ITI は 5 分) 訓練した場合には、5 分 IRI で 1 日 1 試行への S-L 移行によって 0 ペレット予期が崩れることを得た (実験 3)。Capaldi et al. はこれらの結果から、1 日数試行が行われる場面では ITI と IRI が混同されるのに対し、1 日 1 試行の場合にはそのようなことは起こらないとして、次に述べるように時間間隔の重要性に注目した。

Capaldi et al. (1986) によれば、5 分 ITI で 18-1-0 系列を 1 日 3 試行与えた場合、

常に18ペレット試行が5分ITIに後続するので、ラットは長い時間間隔後には大報酬が得られることを学習するという。そこで、IRIを5分に移行すると、すべての走行が長い時間間隔に後続することになるので、ラットは0ペレット走行でも速く走り、0ペレット予期が崩れる。これに対し、1日1試行の場合にはITIとIRIが混同されることがないので、IRIが1分から30分に移行されても0ペレット予期には影響しない。

以上のCapaldi et al. (1986) の考えによれば、1日に数試行行っていたRoitblat et al. (1983, 実験3) とHaggbloom & Ekdahl (1985) の研究においてS-L移行によって0ペレット予期が崩れたことが説明できる。つまり、この両研究では14-7-3-1-0系列を1日数試行与えていたので、ラットは長い時間間隔の後に14ペレット走行がくことを学習していた。そこで、長いIRIに移行された時にIRIとITIが混同され、ラットは長いIRIに後続する0ペレット走行において速く走ってしまったのである。

一方、1日1試行しか行われなかったHaggbloom & Thomas (1987) では、IRI移行以前にラットが長いITIを受けることはなかったので、長いITIに14ペレットが後続するということを学習しない。したがって、長いIRIに移行されても0ペレットに対して速く走らなかったと考えられる。

なお、IRIが長くなるとITIとIRIが混同されるというCapaldi et al. (1986) の考えは、IRIが短い方が0ペレット予期の出現が早いという1日2試行場面を用いたHaggbloom & Ekdahl (1985) の報告と1日1試行場面ではIRIの長さは0ペレット予期に影響しないというHaggbloom & Thomas (1987) の結果もうまく説明することができる。

1日1試行場面において、Haggbloom & Thomas (1987) がS-L移行では0ペレット予期が崩れないことを示していたことはすでに述べた。しかし、驚くべきことには、彼らは、この逆の長いIRIから短いIRIへのL-S

(long-short) 移行によって0ペレット予期が崩れることを1日1試行場面で見出している。1日1試行の場合にはITIは存在しない。したがって、ITIとIRIとの弁別を重視するCapaldi et al. (1986) の考えでは、どちらの方向へのIRI移行も0ペレット予期を崩壊させないことになり、このHaggbloom & Thomasの結果を説明できない。しかし、奇妙なことには、Haggbloom & Thomasは自分達が見出した結果に対する明確な理論的解釈を行っていない。

一方、1日2試行場面では、Haggbloom & Ekdahl (1985) が、S-L移行と同様にL-S移行によって0ペレット予期が崩れることを示している。彼らはこの結果を記憶検索における文脈効果(e.g., Spear, 1978) から捉えている。つまり、あるIRI条件で記銘した記憶は別のIRI条件では検索されにくいというものである。この考えによれば、いずれの方向へのIRI移行によっても0ペレット予期は崩れることになる。したがって、文脈効果によっても、0ペレット予期がS-L移行では影響を受けないのに対し、L-S移行によって崩壊するというHaggbloom & Thomas (1987) が報告した非対象的な移行効果を説明することはできない。

1990年代に入ってから研究であるが、矢澤・藤田 (1992) は1日1試行場面で30秒から30分へのS-L移行によって0ペレット予期が崩れるのに対し、逆のL-S移行の影響を受けないことを報告している。また、移行前では0ペレット予期は30分IRIよりも30秒IRIの方が早く出現していた。これらの結果から、矢澤・藤田はIRIが長くなるにつれてペレット数に対する記憶が衰退することを示唆した。

しかし、1日1試行場面における矢澤・藤田の研究結果と、S-L移行では0ペレット予期が崩れないがL-S移行によって0ペレット予期が崩れるというHaggbloom & Thomas (1987) の結果は一致しない。したがって、本論文で紹介した走行間間隔移行実験

で示された結果をすべて説明できる理論は、現在のところないようである。

3. 分節手がかり (Phrasing cue) に関する問題

前節では、短いIRIと長いIRIとの比較やIRI移行を扱った研究を中心にIRIの効果を検討した。IRIを扱ったもう1つの重要な研究として、系列の途中にIRIより長い時間間隔を入れると、系列がこの時間間隔によってより小さな単位にまとめられることを検討した分節手がかりに関する研究がある。本節では、系列学習における第二の展開として、分節手がかりに関する問題を扱う。なお、分節手がかりとして時間間隔の他に空間や明暗刺激の効果も研究されているので、本節では時間間隔に加えてこれらの刺激に関しても扱う。

人間の系列学習においては、系列を分けて与えると学習が促進することは古くから知られている（例えば、Katona, 1940; Miller, 1956）。1970年代ではRestle (1972) が左から右に6個の小さなライトを並べて番号をつけ、1つずついずれかのライトを点滅させて被験者にいろいろな系列を提示した。そして、ライトの点滅間隔を調整することによって、時間的分節化の効果を検討した。彼の研究では、12-65-12-65-23-54-23-54というように系列の法則構造と長い時間間隔の挿入位置が一致している場合の方が126-512-652-354-235-4のような一致していない時よりも学習が促進されていた。

動物の系列学習において時間間隔が分節手がかりとなることを最初に示したのは、70年代後半になされたHulse (1978) の報告である。彼はラットに10-15秒IRIで14-7-3-1-0-14-7-3-1-0-14-7-3-1-0-14-7-3-1-0という20項目からなる長い1つの系列を毎日1回与えた（実験4）。この場合、0ペレット予期が出現するまでに約20日の訓練を要した。一方、0ペレットの後に10-15分という長い時間間隔を入れると（14-7-3-1-0/14-7-

3-1-0/14-7-3-1-0/14-7-3-1-0）、ラットは訓練第1日目の終わから2日目にかけて、早くも0ペレット予期を示していた（実験1と2）。つまり、14-7-3-1-0系列を10-15分のITIで1日4試行行くと、5試行ぐらいで0ペレット予期が得られたことになる。

このように、Hulse (1978) の研究によって、ラットは系列を分ける分節手がかりとして長い時間間隔を用い、20項目系列が分節手がかりによって4つの14-7-3-1-0系列に分けられていたことが示唆されていた。本論文の第1節で取り上げた実験で示されていたように、IRIよりも長い時間をITIと称して1日数試行行うということは系列学習の実験手続きとして早くから定着していた。しかし、Fountain, Henne, & Hulse (1984)、Capaldi, Verry, & Nawrocki (1984)、Yazawa & Fujita (1984) の3研究が報告されるまで、分節手がかりの効果に直接焦点を当てた研究は報告されなかった。

Fountain et al. (1984) は、T迷路を用いた実験1において、14-7-3-1-0を5回繰り返すことによる25項目からなる長い系列を20秒IRIで5群のそれぞれのラットに与えた。その結果、0ペレット予期は繰り返しごとにアームを変えられた空間分節群、繰り返し間に10分から15分のITIが入れられた時間分節群、空間と時間の両手がかりが与えられた空間・時間分節群の3群では第5日目までに同様に出現した。一方、何の手がかりも与えられなかった非分節群では0ペレット予期が出現するのに21日を要した。さらに、3と1の間にアームが換えられる誤分節（14-7-3/1-0-14-7-3/1-0-14-7-3/1-0-14-7-3-1-0）群は、分節手がかりがない非分節群よりも0ペレット予期の出現が遅かった。これらの結果からFountain et al.は、時間と空間の両者が分節手がかりとして機能し、長い系列が分節手がかりによって14-7-3-1-0という下位系列に適切に分けられた場合には、この

系列が有する法則構造である減少法則に関する符号化が促進されると考えた。つまり、Hulse (1978) の系列符号化理論に基づいて分節手がかりの効果が説明されていた。

また、Fountain et al.の研究では、時間分節群と空間・時間分節群からそれぞれ時間的手がかりを除去し、25項目をすべて20秒IRIで行うと0ペレット予期は崩壊した。これに対し、空間的手がかりは除去されても0ペレット予期は影響を受けず、時間的手がかりの方が重要であることが示されている。

Capaldi, Verry, & Nawrocki (1984) は、実験1において色が異なる黒白の2つの直線走路を用い、14-7-3-1-0の繰り返しごとに走路を変える正分節群の方が3と1の間に走路を変える誤分節群よりも0ペレット予期が良いことを得た。この結果は用いられた分節手がかりが異なるが、Fountain et al.の研究と一致する。しかし、Fountain et al.が系列符号化理論を支持したのに対し、Capaldi et al.は両群の消去結果を比較することにより、記憶弁別理論に基づいて結果を解釈している。消去期では両群に対し第5走行と第6走行の間に走路の色が変えられるという0-0-0-0-0-0/0-0-0-0-0-0系列が与えられた。その結果、正分節群の方が誤分節群よりも消去期での走行が遅いことが示された。Capaldi et al.の記憶弁別理論に基づく説明は次の通りである。

習得期に誤分節群(14-7-3/1-0-14-7-3/...)では0ペレットに対する記憶(S^0)が第6走行において14ペレットに対する信号となる。消去期では S^0 が連続的に提示されるが、 S^0 は14ペレットを信号するので誤分節群は消去期にも速い走行を示していた。一方、分節群(14-7-3-1-0/14-7-3-1-0/...)では S^0 とともに走路の色の変化が第6走行の14ペレットを信号する。そして、分節手がかりである走路の色の変化が S^0 を隠ぺいしてしまうので、14ペレットに対する S^0 の信号力が弱まり、消去期での走行は遅かった。以上の分析に一致して、消去期に

において分節群は走路の色が変化した直後の第6走行においてのみ速く走っていた。これは、習得期に走路の色の変化が14ペレットを信号していたからである。

さらに、分節手がかりの効果に関して、Capaldi, Nawrocki, Miller, & Verry (1986, 実験1)は、0ペレット予期は0ペレット走行が最終の大報酬走行と分節されたときの方がまとめられた時よりも良いことを示している。つまり、走路の色の変化を分節手がかりとして用いた場合、0ペレットの予期は、0ペレット走行が最終の18ペレット走行と分節されていた18-1-0-0-1/18群の方が18-1-0/0-1-18群や非分節の18-1-0-0-1-18群よりも良かった。

また、Capaldi et al. (1986) は実験2において、0ペレット走行が後続の大報酬走行と分節された18-1-0/18-1-0/18-1-0群の0ペレット予期は、大報酬とまとめられた18-1-0-18-1-0-18-1-0群、0-1-18-0-1-18-0-1-18-0-1-18群、0-1-18/0-1-18/0-1-18/0-1-18群のいずれよりも良く、消去期でも0ペレットに対する走行がより遅いことを示している。さらに、15-25分という長い時間を分節手がかりとして用いた実験3では、10-0-0系列と10-0-10系列を1日1試行ずつ固定した順序で与えた場合、10-0-10系列の第2と第3走行間に走路の色が変えられた10-0/10群の方が3走行とも同じ色の走路で行われた10-0-10群よりも第2走行の0ペレットの予期が優れることも報告されている。

Capaldi et al. (1986) は、これらの結果から、0ペレット走行が最終の大報酬走行とまとめられた場合、ラットはその大報酬の到来を当該走行以前から予期する傾向にあり、そのために先行の0ペレット走行での走行速度が上昇すると考えている。一方、分節手がかりによって0ペレット走行と大報酬走行が分節されているときには、このようなことは生じない。つまり、Capaldi et al.に従えば、

0ペレット走行時における最終大報酬の予期が分節手がかりによって隠ぺいされ、分節手がかりが項目間連合を弱めるか消失させていると考えられている。

Capaldi et al. (1986) のこの考えによると、本節で検討したFountain et al. (1984) の結果も記憶弁別理論に基づいてうまく説明される。つまり、0ペレット予期の良かった分節群(14-7-3-1-0/14-7-3-1-0...)では、0ペレット走行は後続の14ペレット走行とは分節手がかりによって分節されているのに対し、非分節群(14-7-3-1-0-14-7-3-1-0...)や誤分節群(14-7-3/1-0-14-7-3/1-0-14-7-3/...)では、0ペレット走行は後続の大報酬走行とまとめられているのである。したがって、分節手がかりによって法則構造がより明確になるということを言わなくても、Fountain et al.の結果は解釈できる。

しかし、Capaldi et al. (1986) が報告した実験1や実験2の結果は法則符号化理論からは説明できない。法則符号化理論によれば、実験1では法則の周期構造が明確である18-1-0/0-1-18系列の方が18-1-0-0-1-18系列より0ペレット予期が優れることになり、Capaldi et al.が得たのとは逆の結果しか予測できない。また実験2では単調減少系列0-1-18/0-1-18/0-1-18/0-1-18群の方が0-1-18-0-1-18-0-1-18-0-1-18群よりも0ペレット予期が良いことを予測してしまう。したがって、分節手がかりを扱った研究でも走行間隔の問題を検討した第2節と同様に、法則符号化理論が否定されたといえる。

上述のFountain et al. (1984) とCapaldi et al. (1984)、Capaldi et al. (1986, 実験3)の研究では、10-25分は20-30秒に比べて時間的に長いので、この長い時間間隔が分節手がかりになるというものであった。これに対し、Yazawa & Fujita (1984) は、強化と無強化の系列からなる強化パターン学習において、他より短い時間間隔も分節手がかりにな

ることを報告した。

Yazawa & Fujitaの実験2と3では、第3走行のみが強化(R)を受け、残りの5走行が無強化(N)である2NR3N(NNRNNN)系列が1日1試行提示された。そこで、第3走行と第4走行間のIRIのみが30分と長く、他はすべて30秒であるL-INT(N-N-R/N-N-N)群に加えて、第3と第4走行間に30秒という短いIRIが入れられた以外はすべて30分IRIで行われたS-INT(N/N/R-N/N/N)群においても、第3走行までと第4走行以降の走行曲線が類似し、6走行からなる系列が2つの3走行系列に分節されていたことが示された。これに対し、すべてのIRIが30秒であるS-ITI(N-N-R-N-N-N)群と30分であるL-ITI(N/N/R/N/N/N)群は、6走行を分節化した証拠は示されなかった。これらの結果から、Yazawa & Fujitaは、分節手がかりとなるのは、30分や30秒という絶対的な時間間隔ではなく、他よりも長いとか短いという相対的な時間間隔であると示唆した。

さらに、90年代に入り、矢澤(1991a)は第1走行のみが強化を受けるR5N系列や第4走行のみが強化を受ける3NR2N系列を用いた実験でもYazawa & Fujitaの示唆を支持するデータを報告している。

また、長い時間間隔に関して、矢澤(1990a)は30秒IRIで3走行系列を完全に学習させた後にこの系列の30分後に3走行を30秒IRIで行うという系列付加場面において、ラットは30分という長い時間間隔を初めて与えられた付加第1日目から即座に分節手がかりとして用いることが示されている(矢澤, 1990bcも参照)。これに対し、矢澤(印刷中)は短い時間間隔の場合にはラットは付加第1日目ではなく第2日目からそれを分節手がかりとして用いることが報告された。つまり、いつからそれを分節手がかりとして利用するかに関して、長い時間間隔と短い時間間隔では異なることが示唆されている。

短い時間間隔の分節効果について、Yaz-

awa & Fujita (1984) と矢澤 (1991a, 印刷中) の実験以外には動物はもちろん人間でも研究がなされておらず、他よりも短い時間間隔によっても分節化が起こるという非常に興味深い現象についてさらに研究を進める必要があると思われる。

4. 遠隔予期 (Remote anticipation)

第3節で検討したように、Capaldi, Nawrocki, Miller, & Verry (1986) の研究では、0ペレット走行が最終の大報酬走行とまとめられた系列において、ラットはその大報酬の到来を当該走行以前から予期することが見出されていた。このように、ある事象が与えられた時、直後の事象だけではなく多くの事象の介入やかなりの時間間隔の経過によって遠く離されている事象も予期されることを遠隔予期 (remote anticipation) と呼ぶ (Capaldi & Miller, 1988a)。A-B-C-Dというような一定の順序で事象が与えられていた時、Aを受けるとBだけではなくCやDも予期されるのが遠隔予期であり、Bだけが予期される場合を現行予期 (current anticipation) という。

遠隔予期は人間の言語系列学習では古くから検討されていた (eg., McGeoch & Irion, 1952)。これに対し、ラットでは、先に述べた Capaldi et al. (1986) を初めとして1980年代に遠隔予期に関する研究が盛んに行われた。Capaldi & Verry (1981, 実験1) は、0-0-20系列と20-0-0系列 (ともにIRIは25-30秒) を1日に2試行ずつ20-25分ITIでランダムに与えた。実験の結果、系列内の他の走行よりも第2走行での走行が遅かった。さらに、この第2走行の速度を系列間で比較すると、20-0-0系列よりも0-0-20系列の方が有意に速かった。この結果から、ラットは0-0-20系列の第2走行においてその走行での0ペレットに加えて第3走行の20ペレットも予期 (遠隔予期) していたため0ペレット時の走行が若干速められたと考えられている。このように遠隔の報酬事象も予期することによって0ペレットに対する走行速

度が少し上昇することを予期エラーという (Capaldi, 1985)。

Self & Gaffan (1983) は、Capaldi & Verry の実験で0-0-20系列よりも20-0-0系列の第2走行が速かったのは第1走行と第2走行でのペレット数による対比効果によると主張した。つまり、20-0-0系列では第1走行で20ペレットを受けていたので、第2走行での0ペレット走行では負の対比効果により走行速度がかなり低下したのに対し、0-0-20系列ではそのようなことは生じなかったと説明された。

そこで、Capaldi, Nawrocki, & Verry (1983, 実験1) は、10-0-10系列と10-0-0系列という両系列の第1、2走行のペレット数が同じであり、対比効果が生じない系列を用いた。そして、半数のラットは常に10-0-10の後に10-0-0を受け、残りの半数はその逆というように、毎日両系列を1試行ずつ決められた順序で与えた。その結果、第2走行の0ペレットに対する走行は10-0-0系列よりも10-0-10系列の方が速く、10-0-10系列において予期エラーが示されていた。この結果はSelf & Gaffanのいうような対比効果では説明できず、ラットは第2走行で第2事象に加えて第3事象も予期するという遠隔予期がなされていることを示していた。また、ラットは10-0-0系列よりも10-0-10系列の第3走行において速く走っていた。両系列とも第1、2事象は10-0であるので、ラットは先行事象以外の手がかりを用いていたことがわかる。つまり、ラットはその日にすでに試行を受けたかどうかという情報を覚えており、その日の初めての試行である場合にはそれは10-0-10系列であり、2回目であれば10-0-0系列であると判断していたと考えられている。

しかし、Capaldi, Nawrocki, & Verry (1983) の実験1のように2つの系列を常に一定の順序で与えた場合、ラットが項目内の事象の順序的位置に連合した手がかりを用いている (eg., Burns, Wiley, & Payne, 1986) とい

う可能性が排除できない。

そこで、Capaldi & Miller (1988a) は、位置の手がかりが使用できない場面を作りだすために、質的に異なる3種類の食物強化子からなる系列を提示するという新しい試みを行った。彼らの実験1では、ラットはX-N-Y系列とZ-N-N系列を毎日ランダムな順序で3試行ずつ与えられた。ここで、Xはペレット、Yはポップコーン、Zはハニースマック、Nは無強化を示す。実験の結果、ラットはZ-N-N系列よりもX-N-Y系列の第2走行で速く走っていた。したがって、系列がランダムに提示され位置の手がかりが使用できない場面においても、ラットはX-N-Y系列の第2走行で第3走行のYも予測するという遠隔予期が示されていた。

以上のCapaldi & Verry (1981, 実験1)、Capaldi, Nawrocki, & Verry (1983, 実験1)、Capaldi & Miller (1988a) では3走行からなる系列が用いられていたため、遠隔予期といっても1試行離れた走行に対する予期が示されただけである。これに対し、第3節で検討したCapaldi et al. (1986, 実験1) では、最終の大報酬と分節された時(18-1-0-0-1/18)よりもまとめられた時(18-1-0-0-1-18)の方が0ペレットや1ペレットに対する走行が速く、18-1-0-0-1-18系列の第2走行から第5走行の各走行においてそれぞれ第6走行の18ペレットが予測されていた。

さらに、Capaldi & Verry (1981, 実験5) は、0-0-0-0-20系列と20-0-0-0-0系列を1日に2試行ずつ(ITI20分, IRI30秒)ランダムに与え、第2から第5走行での走行は20-0-0-0-0系列よりも0-0-0-0-20系列の方が速いという結果を得ている。しかも、0-0-0-0-20系列では第2から第5走行まで走行速度は漸進的に上昇し、第5走行で最も速く走っていた。この結果は、ラットは第1走行から第4走行の各走行において第5走行での20ペレットを予測していたことを示している。

Capaldi et al. (1986, 実験1) やCapaldi & Verry (1981, 実験5) では3つあるいは4つ先の強化事象が予測されていた。両実験でのIRIは約20秒から30秒であったので、4つ先の事象といっても時間的には数分離れているだけであった。これに対し、Capaldi et al. (1986, 実験4) では、20分IRIを用いて8-0-0-8系列の第2走行で約40分先の第4走行の8ペレットが予測されることが示された。また、彼らの実験5ではIRI40分の8-0-0-8系列においても40分先の強化事象が予測されていた。

さらに、矢澤(1984)はIRI30分の0-0-0-0-15系列を用いて、第2から最終走行まで走行速度は漸進的に上昇するというCapaldi & Verry (1981, 実験5) がIRI30秒の0-0-0-0-20系列において示したのと同様な結果を得ている。この結果はラットが第2走行で約2時間離れた事象(第5走行での15ペレット)を予測していることを示すものであり、ラットの系列学習において現在までに得られた時間的に最も長い遠隔予期である。

以上検討してきたように、ラットはA-B-C-Dというような一定の順序で事象が与えられた時、Aを受けるとBだけではなく時間的にかなり離れたCやDも予測するという遠隔予期を行う。Capaldi & Miller (1988a) は直線走路を用いた系列学習実験で示されたこのような遠隔予期と作業記憶課題の1つである遅延見本合わせにおける予測(prospection)との類似に注目している。

遅延見本合わせではまず見本刺激が提示され、保持間隔を経てから2つの比較テスト刺激が示される。動物はどちらのテスト刺激を選択するかを見本刺激によって決めなくてはならない。この場面において、動物は見本刺激が提示されたときにテスト刺激を予測するという(e.g., Roitblat, 1980)。これと同様に、系列学習では見本刺激に相当する事象Aが提示された時、ラットは時間的に離れて提示されるテスト刺激である事象Cを予測する。た

だ、遅延見本合わせでは60秒という保持間隔でもかなり長いと考えられている (Capaldi & Miller, 1988a) ので、遅延見本合わせでの予期と40分 (Capaldi et al., 1986) や2時間 (矢澤, 1984) 離れた事象を予期するという系列学習での遠隔予期が同じものであるかに関してこれから検討していかなければならない問題が残されていると思われる。

5. おわりに

—系列学習研究から計数研究へ—

第4節で検討したように、ラットは系列学習場面において1つ以上先に提示される事象も予期するという遠隔予期を示す。遠隔予期に関して、Capaldi & Verry (1981) と Capaldi, Nawrocki, & Verry (1983) は、ラットが系列内の強化事象に対する内的な表象である系列地図を形成するという系列地図見解 (serial mapping view) を提唱している。この見解によれば、系列を何回も与えるという訓練によっていったん地図が形成されると、その系列内の最初の刺激が提示された時に系列地図の残りの要素に対する表象がすべて引き出されるという。したがって、系列地図見解は刺激と刺激のS-S連合を仮定しており、刺激と反応の連鎖を強調するSkinner (1938) のS-R連鎖説とは対立するものである。また、空間に関してTolman (1948) は動物が認知地図を形成することを提唱している。動物が空間と時間という2次元で生活していることを考えると、時間的な系列地図と空間的な認知地図という2つの内的表象の類似は興味深い (矢澤, 1991b)。

系列学習に関しては、Hulse (1978) の系列符号化理論という非常に認知的なモデルがある。矢澤 (1986) や本論文の第2節で触れたように、Hulse (1978) はラットが14-7-3-1-0系列を単調減少という法則に符号化することを考えている。つまり、ラットは14, 7, 3, 1, 0というペレット数からなる刺激系列を、単なる刺激連鎖よりも1つ上の単調減少法則という概念として符号化する

とされている。これに対し、Capaldiの系列地図見解では、刺激と刺激がそのままの形で連鎖されることを言っているだけであり、Hulseがいうところの法則のような刺激次元より段階が上の次元まで考えているのではないと思われる。系列地図仮説では、14-7-3-1-0系列とは各刺激の連鎖からなる系列にすぎないのである。

第4節で述べたように、0-0-0-0-20系列 (Capaldi & Verry, 1981, 実験5) や0-0-0-0-15系列 (矢澤, 1984) では第2走行から漸進的に走行速度が上昇し、ペレットが与えられる最終走行で最高値が示されていた。このような走行曲線が得られることは、ラットが系列に対する正確な系列地図を形成していることに加えて、系列のどの走行においてもラットはそれまでに何回走行したか、これから何回の走行が行われるかをかなり正しく捉えていることを示している。すなわち、ラットは現在の走行と最終走行との間に何回の走行が行われるのかを正確に決定できるといえる。これは、ラットが走行数を数えることができるという計数の可能性を示唆するものである。

1940年代から約30年間にわたって部分強化に関して多くの研究が行われ、消去抵抗の強さを決定する変数の1つとして無強化試行が何試行連続したかというN-lengthと呼ばれる数的変数が重視されていた (矢澤, 1985を参照)。しかし、部分強化研究では消去抵抗にN-lengthなどの変数がどのような影響を与えるかというように消去抵抗を中心とした観点で研究が進められていた。そのため、ラットが計数できるかという問題に直接焦点を当てた研究は行われなかった。むしろ、矢澤 (1985) が指摘したように、部分強化研究はラットが与えられた系列をどのように学習していくかという系列学習研究へと向かっていった。

そして、矢澤 (1986) が詳しく検討したように、70年代終盤から80年代初頭にかけて動物の系列学習をめぐる、部分強化理論を発

展させたCapaldiの記憶弁別理論と人間の系列学習での理論を動物にも適用したHulse (1978)の系列符号化理論との間に激しい論争がなされた。その後、本論文でみてきたように、走行間隔に関する実験によりHulseの系列符号化理論は否定されていく。さらに、走行間隔移行や分節手がかりなどの実験によって系列学習に関する研究が進み、遠隔連合に焦点を当てた研究からラットにおける計数に関する問題に注目が向けられてきたのである。

1980年代終盤以降、Burns & Sanders (1987)、Burns & Nesbitt (1990)、Burns, Nesbitt, Cribb, & Hulbert (1990)、Capaldi & Miller (1988b, c, d)、Capaldi, Miller, & Alptekin (1989)、Mizuhara (in print)、Yazawa (in print) などのラットの計数研究に関する論文が次々と出され、90年代には計数研究に関して多くの論議がなされることが期待される。本論文では、部分強化から発展してきた系列研究の流れが計数研究へと向かっていることを指摘するにとどめ、動物の計数研究に関しては、次回に改めて検討することにする。

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.
- Burns, R.A., Sanders 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., & 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., Nesbitt, F.A., Cribb, D., & Hulbert, L.G. 1990 Conditional discrimination of series containing either two or three rewarded trials. *The Journal of General Psychology*, **117**, 161-170.
- Capaldi, E.J. 1985 Anticipation and remote associations: A configural approach. *Journal of Experimental Psychology, Learning, Memory, and cognition*, **11**, 444-449.
- 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. 1988c Number tags applied by rats to reinforcers are general and exert powerful control over responding. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **40**, 279-297.
- Capaldi, E.J., & Miller, D.J. 1988d Rats classify qualitatively different reinforcers as either similar or different by enumerating them. *Bulletin of the Psychonomic Society*, **26**, 149-151.
- Capaldi, E.J., & Molina, P. 1979 Element discriminability as a determinant of serial-pattern learning. *Animal Learning & Behavior*, **7**, 318-322.
- 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., Miller, D.J., & Alptekin, S. 1989 A conditional numerical discrimination based on qualitatively different reinforcers. *Learning and Motivation*, **20**, 48-59.
- Capaldi, E.J., Miller, D.J., & Nawrocki, T.M. 1986 Retention interval and intertrial interval in a serial learning or delayed discrimination task. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **12**, 59-68.
- 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., & Nawrocki, T.M. 1984 serial learning, interitem associations, phrasing

- cues, interference, overshadowing, chunking, memory, and extinction. *Animal Learning & Behavior*, **12**, 7-20.
- Capaldi, E.J., Nawrocki, T.M., Miller, D.J., & Verry, D.R. 1985 An examination into some variable said to affect serial learning. *Animal Learning & Behavior*, **13**, 129-136.
- Capaldi, E.J., Nawrocki, T.M., Miller, D.J., & Verry, D.R. 1986 Grouping, chunking, memory, and learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **38**, 53-80.
- 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.
- Haggbloom, S.J., & Brooks, D.M. 1985 Serial anticipation and pattern extrapolation in rats as a function of element discriminability. *Animal Learning & Behavior*, **13**, 303-308.
- Haggbloom, S.J., & Ekdahl, M.W. 1985 Effects of interrun interval on serial learning. *Animal Learning & Behavior*, **13**, 98-102.
- Haggbloom, S.J., & Thomas, D.H. 1987 Serial learning at one trial per day: Effects of interrun interval and interrun interval shifts. *Bulletin of the Psychonomic Society*, **25**, 391-393.
- Hulse, S.H. 1978 Cognitive structure and serial pattern learning. In S.H. Hulse, H. Fowler, & W. K. Honig (Eds.), *Cognitive processes in animal behavior*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Hulse, S.H. 1980 The case of 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 & Motivation*, **8**, 488-506.
- Hulse, S.H., & Dorsky, N.P. 1979 Serial pattern learning by rats: Transfer of a formally defined stimulus relationship and the significance of nonreinforcement. *Animal Learning & Behavior*, **7**, 211-220.
- Katona, G. 1940 *Organizing and memorizing*. New York: Columbia University Press.
- McGeoch, J.A., & Iron, A.L. 1952 *The psychology of human learning*. New York: Longmans, Green & Co.
- Miller, G.A. 1956 The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, **63**, 81-97.
- Mizuhara, Y. (in print) Counting, the amount of reward, interitem associations, and serial position in serial learning in rats. Hiroshima forum for Psychology.
- Restle, F. 1972 Serial patterns: The role of phrasing. *Journal of Experimental Psychology*, **92**, 385-390.
- Roitblat, H.L. 1980 Codes and coding processes in pigeon short-term memory. *Animal Learning & Behavior*, **8**, 341-351.
- Roitblat, H.L., Polog, B., & Scopatz, R.A. 1983 The representation of items in serial position. *Animal Learning & Behavior*, **11**, 489-498.
- Self, R., & Gaffan, E.A. 1983 An analysis of serial pattern learning by rats. *Animal Learning & Behavior*, **11**, 10-18.
- Skinner, B.F. 1938 *The behavior of organisms: An experimental analysis*. New York: Appleton Century-Crofts.
- Spear, N.E. 1978 *Processing of memories: Forgetting and retention*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Tolman, E.C., 1948 Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, **55**, 189-208.
- 矢澤久史 1984 ラットの強化パターン学習に及ぼす試行間隔の効果(1) — 5 NRスケジュールの場合 — 動物心理学年報, **34**, 48.
- 矢澤久史 1985 部分強化理論の展開 東海女子大学紀要, **5**, 61-72.
- 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 1990a 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 1990b ラットの強化系列学習における認知過程 筑波大学博士論文.
- 矢澤久史 1990c ラットの強化系列学習における認知過程 東海女子大学紀要, **10**, 201-218.
- 矢澤久史 1991a ラットの強化パターン学習における分節化と試行間隔との関係 心理学研究,

62, 24-30.

矢澤久史 1991b 時間・順序の学習 藤田統（編著）動物の行動と心理学 教育出版 Pp.96-103.

Yazawa H.(in print) Rat's strategy of serial learning : Coments to Mr.Mizuhara's paper. Hiroshima forum for Psychology.

矢澤久史 印刷中 ラットの強化パターン学習における短い試行間隔による分節化 心理学研究.

Yazawa H.,& Fujita O. 1984 Reinforcement pattern learning: Do rats remember all prior events? *Animal Learning & Behavior*, **12**, 383-390.

矢澤久史 藤田統 1992 ラットの系列パターン学習に及ぼす走行間隔の効果 心理学研究, **63**, 128-132.