

## ラットにおける系列学習研究の動向(6)

—— Fountain, S. B. の研究を中心に ——

矢澤 久史

### はじめに

私たちが生活している世界では、様々な事象が時間の流れに沿って生じている。身近な例では、交差点にある信号機は青、黄、赤という決められた順序で点滅する。このような系列的に生起する事象を人間や動物がどのように学習しているかに関する研究の歴史は長い。人間については、Ebbinghouse (1885) の一連の記憶研究の中で扱われた実験が一番古いものである。彼は、原学習リスト (A-B-C-D-E-F-…) を完全に暗唱できた24時間後に、1つおきに並べ替えたリスト (A-C-E-…B-D-F-…) と、2つおきに並べ替えたリスト (A-D-G-…B-E-H-…C-F-I-…) を再学習させ、元のリストで隣り合う項目が離れば離れるほど再学習が困難になることを報告している。動物を用いた最初の実験では、Hunter (1920) が、ラットはT迷路で報酬を与える目標箱の位置を右、左というように1試行ごとに変えた単一交替系列を容易に学習するのに対し、右、右、左、左というように2試行ごとに変える二重交替系列の学習は困難であることを得ている。

Ebbinghouse (1885) や Hunter (1920) 以降にも系列に関する多くの研究が様々な観点から行われている (例えば、動物では Lashley, 1951; Skinner, 1934; 人間では Restle & Brown, 1970 など)。しかし、現在まで途切れることなく長い間に渡り激しい議論がなされてきたのが、部分強化理論 (Amsel, 1958, 1967; Capaldi, 1966) の検討に始まり、Capaldi の系列理論 (Capaldi, 1967, 1971) と Hulse の法則学習理論 (Hulse, 1978) の対立を経て、Burns の系列位置学習 (Burns, Wiley, & Payne, 1986)、計数 (Burns & Sanders, 1987; Capaldi & Miller, 1988) やチャンキング (Capaldi, Verry, Nawrocki, & Miller, 1984; Fountain, Henne, & Hulse, 1984; Yazawa & Fujita, 1984) などの研究を巻き込んできたラットの系列学習を巡る研究である。

これまで系列学習について、連続強化よりも部分強化の方が消去抵抗が高いという部分強化効果を巡る Amsel (1958, 1967) のフラストレーション理論と Capaldi (1967, 1971) の系列理論の対立に端を発する部分強化理論の展開 (矢澤, 1985)、Hulse (1978) の法則学習理論と Capaldi の系列理論の対立 (矢澤, 1986)、1980年代の展開 (矢澤, 1992)、それまでの展開のまとめ (矢澤, 1998)、系列位置学習 (矢澤, 2012)、計数 (矢澤, 2013a)、チャンキング (矢澤, 2013b) に焦点を当てながら検討してきた。系列学習を巡っては、当初から Hulse と Capaldi という2人の人物が研究の中心を担っていたが、現在では Hulse の流れを受け継いだ Fountain (eg., Fountain, 2006; Fountain, Rowan, Muller, Kunder, Pickens, & Doyle, 2012; Fountain, Wallace, & Rowan, 2002) がその中心になり、精力的に研究を展開している。しかし、これまで矢澤は Capaldi の系列理論の立場に立って研究を進めてきていたことから (eg., Yazawa & Fujita, 1984; 矢澤, 1990,

1991, 1993, 1995; 矢澤・藤田, 1995)、Fountainの研究に触れる機会はほとんどなかった。そこで、本論文では系列学習研究の新たな中心人物である Fountain の研究を紹介することにしたい。

## 1. Fountainの研究のルーツ——Hulseの研究

Fountainの名前が文献に登場するのは、Fountain & Hulse (1981) が最初である。この論文の共著者である Hulse は、動物の学習研究に認知的なアプローチを導入した第一人者であり、“Cognitive process in animal behavior” (Hulse, Fowler, & Honig, 1978) の編著者としても有名である。特に1970年代中盤から系列学習に関して、動物学習に認知的なアプローチを適用した Hulse (1978) と S-R 理論の枠組みから刺激間連合を重視した Capaldi (1967, 1971) との間には活発な論争が展開されていた (矢澤, 1986を参照)。Fountainはこの Hulse の Johns Hopkins 大学での弟子にあたる。

人間の系列学習では、123345567というような数字列が刺激として用いられることが多い。一方、1960年代に動物学習分野で盛んであった部分強化研究では、ラットに直線走路を走らせ、目標箱に餌ペレットがあるか (強化: R) ないか (無強化: N) という R と N からなる強化系列を学習させていた。代表的な系列として1試行ごとに強化試行と無強化試行が交代する (RNRNRN) 単一交替スケジュールや二重交替スケジュール (RRNRRRNN) がある。

Hulse & Campbell (1975) は、部分強化実験を発展させ、目標箱の餌ペレットの有無という二分法ではなく、各試行で目標箱に置くペレット数を刺激として用いた。そして、単調減少系列 14-7-3-1-0 や単調増加系列 0-1-3-7-14 で 0 ペレット (無強化) 試行でのラットの走行が遅いという結果を得た。その後、Hulse & Dorsky (1977) は、非単調系列 14-1-3-7-0 よりも単調減少系列 14-7-3-1-0の方が0ペレット予期が良いこと (実験1)、弱い単調減少系列 14-5-5-1-0 よりも強い単調減少系列 14-7-3-1-0の方が0ペレット予期が優れることなどを示し、ラットは法則構造を符号化するという法則学習理論 (法則符号化理論) を提唱した。

このような背景から、FountainはHulseの共同研究者として、Fountain & Hulse (1981) で系列学習研究の舞台に登場する。この論文では、14-7-3-1系列で訓練された群の方が14-1-3-7系列で訓練された群よりも新しく付加された0ペレットの予期が良いという結果から、ラットは新たに付加された項目をそれまでの法則構造に基づいて推測できることが提唱されていた。そして、単調減少系列 18-10-6-3-1-0の方が単調減少系列 18-10-1-0 や 18-1-0 よりも0ペレット予期が良いという法則構造と系列の長さとの関係を検討した Fountain, Evensen, & Hulse (1983) や、14-7-3-1-0系列を長い時間間隔で分節化した方が0ペレットの予期が優れるという時間的分節手がかりの効果を示した Fountain, Henne, & Hulse (1984) が発表されていく。その後、Fountainは直線走路を用いた伝統的な研究から離れ、新たな実験装置を開発したことによって、彼の研究は飛躍的な発展を遂げることになる。

## 2. Fountainによる新しい実験装置の開発

### ①スキナー箱での脳内刺激

直線走路で目標箱に置く餌ペレット数を刺激とした実験では、ペレット数によって食べるのに要する時間が異なるので、厳密な意味で試行間間隔がコントロールできない。さらに、14個などの大きなペレット数を用いた場合、試行に伴って空腹動因が低下してしまうことから、1日の試行数をあまり多くできないという制約がある。実際に比較的多くの試行を行った Fountain, Henne, & Hulse (1984) の T字型走路実験でも、1日に14-7-3-1-0系列を5回、つまり25試行を提示しているのに留まっている。このように走路で餌ペレット数を刺激項目として長い系列について研究するには限界があった。先に述べた法則構造と系列の長さとの関係を検討した Fountain, Evensen, & Hulse (1983) では、実験1では直線走路が用いられていたが、実験2ではスキナー箱が使用された。長い単調減少系列18-10-6-3-1-0では、最初のレバー押しに対して18ペレット、2番目の反応に対しては10ペレットというように、各レバー押しに対して与えられる餌ペレットの数による系列が提示された。測度としてはレバーが提示されてから反応が生起するまでの反応潜時が測定された。この実験2ではスキナー箱を用いるという新しい試みがなされたが、直線走路実験と同様に刺激項目は餌ペレット数であったために、18-10-6-3-1-0系列を1日6回、つまり36試行しか行えず、1日に多くの試行を実施できないという問題は解決されていなかった。つまり、スキナー箱を用いたとしても、餌ペレット数以外を刺激項目とする新たな実験法を考案することが必要であった。

Fountain & Annau (1984) は、スキナー箱での最初のレバー押しには18パルスの脳内刺激を、2回目のレバー押しには10パルス、以下6, 3, 1, 0パルスとする18-10-6-3-1-0系列を試行間間隔1秒、系列間間隔15秒で毎日100系列(600試行)実施した。そして、訓練の進行に伴って、18や10のような脳内刺激のパルス数が大きいことを予測した時にレバー押し反応が早く、1や0のようなパルス数が少ない時には反応が遅いことから、脳内刺激が系列学習の刺激項目になることを得た。さらに実験2では、脳内刺激のパルス数からなる単調減少系列18-6-1-0の方が非単調系列18-1-6-0系列よりも最終0パルスでの反応時間が遅いことが示された。このような結果から、脳内刺激でも直線走路における目標箱での餌ペレット数を項目として用いた Hulse & Dorsky (1977) と同様に、ラットが法則構造を法則化することが得られ、脳内刺激を項目として用いることの有効性が示されている。なお、系列学習に対する薬物による影響を調べた研究であるが、Fountain, Schenk, & Annau (1985) も単調減少18-10-6-3-0系列や非単調系列18-1-3-6-10-0系列などについて脳内刺激の強度による系列を用いている。

### ②6つのレバーが並んだスキナー箱

脳内刺激は飽和 (satiation) がないので、毎日かなり多くの試行を提示できるという利点がある。人間の系列学習では、被験者に並んでいるボタンを正しい系列順序で押すという課題が用いられることが多い (eg., Restle, 1970; Restle & Brown, 1971; Willingham, 1998)。そこで、Fountain (1990) は脳内刺激を正反応に対する報酬としては用いたものの、実験状況を人間の系列学習場

面に近づけるために、系列を構成する刺激を報酬強度から空間次元へとパラダイムを変えた。つまり、1つの壁に1列に6個のライトを並べ（左側から1, 2, 3, 4, 5, 6）、各ライトの下に付けられたレバーを正しい順序で押すと脳内刺激が報酬として与えられるという実験方法が初めて用いられた。訓練では、まず系列の最初の項目に相当する位置にあるライトが点灯し、すぐにその下のレバーを押せば脳内刺激が与えられた。次に2番目の項目に相当するライトが点灯したら、その下のレバーを押せば脳内刺激が得られるというようにして、ラットに系列を学習させた。その後、ライトの点灯によるガイド無しでも訓練された順序でレバーを押すことができるかという人間の系列学習で用いられていると同様のトラッキング課題（e.g., Restle & Burnside, 1972）が行われた。なお、Fountainの第1実験では、ラットにチャンク内がプラス1法則（1234）、イコール法則（66666）、単一交替法則（2323）、マイナス1法則（543）の4つの法則を有する16項目からなる1234666662323543系列が提示され、チャンク内の構造は学習できても、チャンク間の法則構造の変化を予測することが困難であることが示されている。

### ③放射状に8つのレバーを配置したスキナー箱

Fountain & Rowan (1995a) では、Restle (1970) の予期課題に相当する新しいラット用の課題が採用された。そこでは、一直線に並んだレバーを用いたFountain (1990) の装置を改良して、八角形の壁のそれぞれに1つずつ、合計8つのレバーが取り付けられているというプレキシグラス製のスキナー箱が初めて使用された。レバーは時計回りで1～8まであり、レバー1と8は隣接していた。各試行の最初には8つすべてのレバーが提示され、ラットは8つのレバーのどれでも押すことができる。正しいレバーが押された時には視床下部に脳内刺激の報酬が与えられる。間違ったレバーを押すと正しいレバー以外のすべてのレバーは引っ込み、正しい反応をするまで強化されない。ラットはこの手続きをレバー押しのシェーピング以外は何の予備訓練がなくても容易に学習でき、ラット自身のペースで課題を遂行している間に試行ごとの正反応率、反応潜時などを記録できるという利点がある。ラットに対し1日のセッション当たり50の24項目パターンまで訓練できる（Fountain & Rowan, 2000）。この新しい実験装置によって、長くて洗練された様々な系列をラットがどのように学習するかを詳しく検討することができるようになり、その後のFountainの研究の発展を支えることになる。

この8方向スキナーボックスは、Fountainは特には述べてはいないが、1980年代以降に空間記憶研究で多く用いられていたOlton (1978) の8方向放射状迷路にヒントを得たものであると思われる。実際、Fountainの研究室の長であったHulseは、Hulse & O'Leary (1982) の論文で14-6-1-0系列が放射状迷路の一定の場所と連合している時の方が異なる場所に連合している時よりも0ペレットの予期が容易であることから、空間的な手がかりが法則構造の学習に有効であることを示していた。さらに、Olton, Shapiro, & Hulse (1984) は、4本のアームからなる放射状迷路（十字型迷路）で自由選択させた場合、ラットは14, 7, 1, 0というように餌ペレット数の多い順にアームを選択していることが報告されている。

### 3. 法則構造に関する Fountain の代表的な研究

#### ① Violation パターンを用いた研究

1970年代に Restle (1970, 1972, 1976) や Restle & Brown (1970) は、並んでいる6つのボタンを被験者にある一定の順序で押させることによって、与えられた系列を学習できるかどうかを調べた。各選択後にはどのボタンが正反応であったかがボタンの上のライトでフィードバックされた。その結果、人間は Run (1234...) や Trill (1212...)、またこの2つのコンビネーション (Restle & Brown, 1970) において法則に基づいた構造を学習できることが示された。さらに、Restle & Burnside (1972) は、系列の中のある項目だけが系列構造と一致しない Violation パターンでは、被験者のエラーはその Violation 項目に集中することを報告している。

Fountain & Rowan (1995a) は、Restle & Burnside (1972) の Violation パターンを用いて、Run (1234...) と Trills (1212...) において完全な構造を持つ Perfect パターンと系列の最後の項目が異なる Violation パターンに対するラットの反応を比較している。Perfect Run パターンは123-234-345-456-567-678-781-812であり、Violation Run パターンは123-234-345-456-567-678-781-818であった。ここで Violation Run パターンの最終チャンクは本来の Run であれば812であるので、818の最後の下線が引かれている8が Violation 項目となる。つまり、Perfect Run と Violation Run の違いはこの最終項目が異なるだけである。一方、Trill については、Perfect Trill パターンが121-232-343-454-565-676-787-818であるのに対し、Violation Trill パターンは121-232-343-454-565-676-787-812となり、Violation Trill の最終チャンクである812の最後の2が Violation 項目である。Run の時と同様に、Perfect Trill と Violation Trill の違いは、最終項目が Perfect Trill では8であるのに対し、Violation Trill では2であることによる。実験では3試行 × 8チャンクの24試行からなる系列を20回、つまり24 × 20の480試行が毎日行われた。試行間間隔は1秒であり、3試行ごとのチャンクの間には3秒のチャンク間間隔が置かれた。

実験の結果、Perfect Run と Perfect Trill では学習が優れていたのに対し、Violation Run と Violation Trill では Violation 項目である最終項目でのエラー率が高かった。これは Restle & Burnside (1972) が人間において得たのと同様な結果であり、ラットも人間と同様に与えられた系列を Run や Trill というような構造で捉えていると言える。なお、Fountain, Krauchunas, & Rowan (1999) はマウスでも同様な結果が得られたことを報告している。

Fountain & Rowan (1995a) は、Violation Trill と Violation Run で共に Violation 項目の成績が悪かったという結果は単純な項目間連合 (eg., Capaldi, 1967, 1971, 1992) では説明できないことも指摘している。Violation Trill (121-232-343-454-565-676-787-812) では最初のチャンク121でレバー1への正しい反応が次のレバー2を常に予測するという1と2の項目間連合の形成が可能であったが、最終チャンクにおける812でレバー1の次の反応がレバー2とはならなかった。同様に、Violation Run (123-234-345-456-567-678-781-818) では、最後の2つのチャンク781-818で、系列間間隔が間に入っているとしても、レバー1への正反応がレバー8を予測するという1と8の項目間連合が可能であったが、最後の8-1-8系列でレバー1の次の反応がレバー8にはならなかった。一方 Perfect Run (123-234-345-456-567-678-781-812) では第1チャンク123と最終チャ

ンク812について共に1と2の項目間連合が可能であったが、4条件のうちでこの条件のみで項目間連合が機能していたとは考えにくい。

以上のようなことから、ラットは項目間連合といったより単純な連合的方略を採らずに、Runとか Trill というような高度に組織化された系列構造を示すための法則を学習していると結論づけられている。

## ②階層レベルに関する研究

Fountain & Rowan (1995a) の研究は、すでに人間に対して行われていた Restle & Burnside (1972) の実験をラットに適用したものであるが、Fountain & Rowan (1995b) は、同じ系列を人間とラットに提示して両者の差異を検討している。文字通り異なる種の認知を比較検討するという「比較認知」の研究である。ラットでの実験はこれまで述べてきた8方向スキナー箱を用い、人間での実験ではスクリーン上に8つの点が円周上に表示され、その点をタッチしていくというものであった。

Fountain & Rowan (1995b) の実験1では、24項目からなる2つのパターンが与えられた。1つは Hierarchical パターン 123-234-345-456-567-678-781-812 であり、このパターンはチャンク内の各項目は1ずつ増加する(プラス1)という第1の法則(例えば、第1チャンクでは123)と、各チャンクの最初の項目は1ずつ増加するという第2の法則(第1チャンクの最初の項目が1、第2チャンクの最初の項目は2であり、第3チャンクの最初の項目は3)というチャンク内1・チャンク間1という2つのレベルの階層から成り立っていた。もう1つはこの Hierarchical パターン 123-234-345-456-567-678-781-812 の第3チャンク(345)と第6チャンク(678)内の項目をそれぞれ逆順序にすることによって法則構造が violate された Linear パターン 123-234-543-456-567-876-781-812 である。この Linear パターンは、第1, 2, 4, 5, 7, 8チャンクがプラス1法則、第3, 6チャンクがマイナス1法則というように、チャンク内には法則を有するが、チャンク間には法則はない。Linear パターンと Hierarchical パターンは24項目のうちの4項目(7, 9, 16, 18項目)が異なるだけであり、すべての項目間連合は同一となっており、両パターンとも正反応の次には右か左の隣接するバーを押せば次反応は正反応となる。なお、試行間隔は1秒、チャンク間隔は3秒で1日20回(合計480試行)が14日間にわたって行われた。

実験の結果、ラットでも人間でも Linear パターン(123-234-543-456-567-876-781-812)では特に violate された第3, 6チャンクのエラーが多く、2つのレベルの法則構造を持つ Hierarchical パターンの方が系列の学習が優れていることが示された。

Fountain & Rowan (1995b) の実験2では、さらにレベルを1つ加えた3レベルからなる Hierarchical パターン 123-234-345-456-567-876-765-654-543-432 が検討された。このパターンでは10チャンクのうちの前半の5チャンク(123-234-345-456-567)は実験1と同様の2つのレベルの階層から成り立っていた。つまり、チャンク内の各項目はプラス1法則(第1法則)から成り、チャンク間では各チャンク内の第1項目は前のチャンクの第1項目にプラス1するという第2法則から成り立っていた。それに加えて、後半の5チャンク(876-765-654-543-432)は前半の2つの法則のミラー構造という第3法則が成立し、チャンク内は1ずつ減少(第1法則の逆)、チャ

ンク間も1ずつ減少(第2法則の逆)となっていた。これに対し、Linearパターン123-234-543-456-567-876-765-654-345-432は、先のHierarchicalパターンにおける第3チャンク(543)と第9チャンク(345)が逆になり、第1, 2, 4, 5, 9チャンクがプラス1法則、第3, 6, 7, 8, 10チャンクがマイナス1法則というようにチャンク内には法則があるが、チャンク間には法則はないパターンであった。HierarchicalパターンとLinearパターンは、すべての項目間連合は同一であり、両パターンとも正反応の次には右か左の隣接するバーを押せば良いことになっていた。

実験の結果、ラットも人間も、Hierarchicalパターンでは第1チャンクと第6チャンクの最初の項目に対するエラーが多く、前半5チャンクと後半5チャンクでは法則構造が逆になるという第3法則のミラー構造に関するエラーが多かった。なお、ラットでは系列を14日間にわたり毎日20回(600試行)受けており、1日に20パターンが繰り返されていた。したがって、第1チャンクの1回目はその日の最初のパターンなのでエラーが少ないとしても、2回目以降の第1チャンクは第6チャンクと同様に法則の変更点になるためにエラーが多くなったと考えられる。第1と第6以外のチャンクでは第1項目に対するエラーは少なく(第2法則に関係)、チャンク内の項目に関するエラー(第1法則)はほとんどなかった。つまり、法則の階層レベルが高くなるほど、エラーが多くなっていた。

これに対し、Linearパターンでは、第1と第6チャンクの第1項目のエラーが多いというHierarchicalパターンが示したような結果は得られず、すべてのチャンクにおいて第1項目のエラーが多かった。チャンク内の第2, 3項目に対するエラーは、項目が変えられた第3チャンク以外では少なかった。つまり、Linearパターンではチャンク内には1つの法則があることが認識されていたが、チャンクは幾分やみくもにアレンジされていたと捉えられていたようである。

さらに実験3では、実験2と同様な36項目からなる3レベル階層123-234-345-456-567-678-765-654-543-432-321-218と新たな4レベル階層123-234-345-432-321-218-765-654-543-456-567-678が比較された。この4レベル階層では、第3チャンクまでチャンク内もチャンク間もプラス1法則であり、チャンク内1レベル・チャンク間1レベルの2レベル構造であった。そして、第4～6チャンクは第1～3チャンクのミラー構造(レベル3)であり、後半の6チャンクである第7～12チャンクは前半の第1～6チャンクのミラー構造(レベル4)となっていた。実験の結果、人間でもラットでも同様に、3レベルよりも4レベルの方が学習は困難であり、パターン構造つまりパターンの複雑性が学習困難性の決定因であることが確認されている。このように、Fountain & Rowan (1995b)の3つの実験は、ラットが人間と同じようにパターンの階層構造を符号化することを明らかにした。

### ③2つのパターンの混在について

1つの系列に2つのパターン構造が混在している場合に、ラットはその2つの構造をそれぞれ分離して捉えることができるかを最初に研究したのは、Fountain & Annau (1984)の実験3である。なお、彼らの実験1はスキナー箱における脳内刺激の強度を系列学習の刺激として初めて用いた研究であることは先に述べた。実験3では、単調減少系列25-18-10-3-1-0に6-6-0を挿入した2つの構造の組み合わせからなる25 6-6-0 18 6-6-0 10 6-6-0 3 6-6-0 1 6-6-0 0系列と、非単調系列

25-3-10-18-1-0に6-6-0を挿入した25 6-6-0 3 6-6-0 10 6-6-0 18 6-6-0 1 6-6-0 0系列が比較された。実験の結果、6-6-0が挿入されても、単純減少系列25-18-10-3-1-0の方が非単調系列25-3-10-18-1よりも最終の0パルスに対する反応が遅く、0予期が優れていた。つまり、ラットは6-6-0が挿入されたとしても、挿入された系列6-6-0と単調減少(25-18-10-3-1-0)という法則構造を2つに分離し、2つの系列のそれぞれの法則構造を別々に学習していたことがわかる。

Fountain, Rowan, & Benson, Jr. (1999) は、8方向スキナー箱で構造の混在について研究した。彼らの関心は隣接していない項目間の構造をラットが学習できるかにあった。実験1では構造的パターン123 234 345 456 567とリピートパターン888 888 888が組み合わされた182838 283848 384858 485868 586878と、非構造的パターン153 236 345 426 547とリピートパターン888 888 888が組み合わされた185838 283868 384858 482868 584878が比較された。非構造的パターンは構造的パターンの4項目(下線部)を変えただけであるが、リピートパターンが挿入されても構造的パターンの方が非構造的パターンよりも学習が優れていた。なお、第3チャンク(384858)は両系列で同じであるが、非構造的パターン(の文脈)ではこの部分の学習が難しかった。

実験1では挿入されたのは888という1種類の項目からなるパターンであったが、実験2では7と8という2種類の項目からなるパターン7878が挿入された。つまり、構造的パターン123456と単一交替パターン787878が組み合わされた172837485768と、非構造的153426と単一交替パターン787878が組み合わされた175837482768が比較された。なお、非構造パターンは構造パターンの2つの項目(下線部)を入れ替えただけである。実験の結果、条件間の比較では、構造サブパターン123456の方が非構造サブパターン153426よりも学習が優れ、構造を持つパターンの方が学習が容易であることが示された。また、条件内の比較では、非構造的+単一交替パターンでは、非構造的サブパターン153426よりも単一交替パターン787878の方が学習が早く、構造的+単一交替パターンでは単一交替パターンの方が学習が早かった。構造的パターンではプラス1法則、単一交替パターンでは交替法則というようにどちらも1つの法則しか有していないが、単一交替パターンの学習が一番速やかになされるという人間での報告(Kotovsky & Simon, 1973)と一致する結果が得られていた。ここでも、ラットが人間と同様に系列の法則構造を学習することが示されている。

Fountain & Benson (2006) は、Violation項目を含むパターンとの混在について検討している。用いられた1つ目の系列はS-S (Simple-Simple) パターン(1526374851627384)であり、これはそれぞれプラス1法則を持つ2つの単純パターン12345678と56781234が1項目おきに組み合わせられていた。2つ目は2V-S (2Violation-Simple) パターン(1526473851627384)であり、12345678の単純Sパターンのうちの34を43と逆にした2項目がViolationとなるパターン12435678と単純パターン56781234の組み合わせである。つまり、この2V-S系列パターンはS-Sパターンの34を43に変えただけである。3つ目の4V-S (4Violation-Simple) パターン(1526473861527384)は、単純パターン12345678の3456を2項目ずつ逆にした(4365) Violation項目を4つ持つパターン12436578と単純パターン56781234の組み合わせであった。実験の結果、最初の下位パターンについて見ると、プラス1法則を持つ2つの単純パターンであるS-Sの学習が一番早く、次にViolation項目を2つ持つ2V-S系列パターンの2Vパターンが続き、Violation項目が4つである



4V-S 系列パターンの4V の学習が一番遅かった。この結果から、ラットが隣接していない1つおきの項目間に法則構造を見つけ、与えられた系列を1つおきに2つの下位系列にチャンキングし、下位パターンの構造が学習難易度の決定因であることが分かる。つまりラットは、S-S 系列ではプラス1法則を持つ2つの下位系列(SとS)、2V-S 系列と4V-S 系列では Violation 項目がある系列構造を持たない下位系列(2Vか4V)とプラス1構造を持つ下位系列(S)として捉えていた。また、Sパターンの学習はS-Sパターンが一番早く、次に2V-S 系列パターンが続き、4V-Sパターンの学習が一番遅く、下位系列の法則構造が明確なほどそれと組み合わせられた系列の学習が早いことも示されていた。

#### 4. 分節手がかりに関する研究

##### ①初期の研究

前節では隣接していない項目間のチャンキングについて検討したが、チャンキングに関係するものとして、分節手がかりがある。法則学習理論(Hulse, 1978)では、構造的に定義されたチャンクの間に入れられた分節手がかりは法則構造を検知したり符号化することを容易にすることによって学習を促進することを予測する。人間においては、Restle (1972)が12-65-12-65-23-54-23-54というように法則構造と一致する適切な分節化は系列学習を促進するのに対し、126-512-652-354-235-4というような法則構造と一致しない不適切な分節化は学習を阻害することを報告している。

分節手がかりに関する Fountain の最初の論文は Fountain, Henne, & Hulse (1984) であり、T迷路で目標箱に置く餌の数を項目として用いるという古いタイプの実験によって分節化を検討していた。なお、1984年には分節手がかりについて検討した2つの論文(Capaldi, Verry, & Nawrocki, 1984; Yazawa & Fujita, 1984)が発表されているが、この2つの論文は項目間連合を支持する研究であった(詳しくは矢澤, 1992参照)。Fountain, Henne, & Hulseの実験では、分節手がかりとして時間的手がかり(試行間隔15分)と空間的手がかり(左右の目標箱)が用いられた。実験の結果、時間的手がかりも空間的手がかりも法則構造の繰り返し間に入れられて系列が適切に分節された場合(14-7-3-1-0/14-7-3-1-0/…)には学習が促進することが示された。一方、分節手がかりが法則構造と一致しない位置に入れられた場合(14-7-3/1-0-14-7-3/1-0/…)には学習は阻害されていた。つまり、Restle (1972)による人間における系列の分節化と同様な結果がラットでも得られている。

Fountain (1990)の実験2は、1列に6個並んだレバーを正しい順序で押すと脳内刺激が報酬として与えられるという実験方法を用いて分節手がかりの効果を検討した最初の研究である。ここでは、1234345665434321系列が4項目ずつ時間的手がかりで分節化され、それぞれのチャンク内がRun構造となるRun群(1234-3456-6543-4321系列)と、チャンク内がTrill構造となるように分節化されたTrill群(12-3434-5665-4343-21)が比較され、その後に分節手がかりが除去された時の影響も調べられた。パターン習得では両群間に差は示されず、1234345665434321系列という1つの系列が分節手がかりの位置によって、Run構造にもTrill構造にも法則が学習され

ることが可能であった。また、分節手がかりが除去されると、Run 群では第 5 試行と第 13 試行でのエラーが多くなっていた (1234-3456-6543-4321)。第 5 試行では本来は 3 レバーが正反応であるのに対し、5 レバーに対する誤反応が多く、これは先行する 1234 から 12345 という Run 構造の推定がなされたと考えることができる。同様に、第 13 試行で 2 レバーに対する誤反応が多くなったのも、先行する 6543 からの Run 構造 (65432) の推定である。一方、Trill では分節手がかりの除去は第 15 試行 (12-3434-5665-4343-21) で 4 レバーに対する誤反応を増加させたが、これも先行する 4343 から Trill 構造 (43434) が推定されたことによる。以上のように、同じ系列であっても、分節手がかりの挿入位置によって、ラットは異なる構造を符号化することが示されたといえる。

## ②短い時間間隔による分節化

先に述べた T 迷路を用いた Fountain et al. (1984) の実験では、空間的分節手がかりで訓練されたラットはその手がかりが除去されても学習は維持されていた。しかし、時間的分節手がかりでは訓練後の手がかり除去によってパターン学習は大きく崩れ、空間と時間的手がかりでは異なるメカニズムが学習に関与していることが示唆されていた。そこで、Stempowski, Carman, & Fountain (1999) は、時間的分節手がかりが学習を促進するメカニズムを詳しく探るために、チャンク内の試行間隔よりも長い時間間隔を分節手がかりとするという通常用いられている方法に加え、チャンク内よりも短い時間間隔を分節手がかりとする条件を設けた。つまり、24 項目をすべて 2 秒で行う無分節群 (123234345456567678781812)、3 項目ごとに 5 秒という他よりも長い分節手がかりが入られる長分節群 (123-234-345-456-567-678-781-812)、3 項目ごとに 0.5 秒という他よりも短い分節手がかりが入る短分節群 (123/234/345/456/567/678/781/812) の 3 つが比較された。その結果、チャンク間に分節手がかりが入られる場合には、それが長い間隔でも短い間隔でもパターン学習が促進されることが示された (実験 1)。しかし、実験 2 において分節手がかりが除去されると、どちらの分節条件でもチャンクの第 1 項目の遂行が極めて悪化し、パターン遂行が大きく崩れた。手がかりの除去では習得期に一番成績が良かった短分節群の悪化が一番著しく、次に長分節群が続いたが、このいずれの群とも訓練当初から分節手がかりがなかった無分節群よりも成績が低下していた。

法則学習理論 (Hulse, 1978) に従えば、分節手がかりによって系列のパターン構造の特徴に対する符号化が促進され、分節手がかりが除去されたとしても学習は維持されることを仮定する。実際、T 迷路を用いた Fountain et al. (1984) の実験においては、分節手がかりとして空間的手がかりが用いられた場合には、正しい分節化によってパターン学習が促進し、空間的手がかりが除去されても学習は維持されていた。

Stempowski, Carman, & Fountain (1999) は、習得期のパターン習得が良かった群ほど時間的分節手がかりが除去された後ではパターン学習が崩れるという結果に対し、潔く自分たちの法則学習理論に矛盾する結果であることを認めている。そして、そこで採り入れたのは、長年理論の対立をしていた Capaldi (1971, 1992, 1994) の記憶弁別理論であった。記憶弁別理論では、分節手がかりは系列内の項目に対する記憶における干渉を減少させたり、ある事象や反応の手がかりに

なることによって学習を促進すると考えられている。Fountain は法則学習の立場から、分節化とパターン構造との関連について研究を進めていた。しかし、Stempowski, et al. は、分節手がかりが弁別刺激となり項目間連合を隠蔽するという Capaldi の提唱に一致するような結果を得たこともあって、短い分節手がかりも長い分節手がかりも弁別手がかりとして用いられ、この分節手がかりが項目間連合を隠蔽したという可能性を考えている。なお、Stempowski et. al. は全く言及していないが、他よりも短い時間間隔も長い分節手がかりと同様な効果を持つことは、すでに Yazawa & Fujita (1984) が15年前に報告し、その後矢澤 (1991, 1993, 1995) でも確認されていた現象である。

### ③分節手がかりが影響するのは法則学習か項目間連合か

Fountain, Benson, & Wallace, (2000) は、Stempowski et al. (1999) が示唆するように、分節手がかりが単なる弁別手がかりとして機能するのであれば、分節手がかりが多い条件の方が学習が良くなる考えた。そこで、8つのチャンクごとに分節手がかりを入れる群 (-123-234-345-456-567-678-781-812)、8チャンクのうちの4つに分節手がかりを入れる群 (どこに入れるかによって後述の3群に分けられる)、分節手がかりを入れない無分節群 (123234345456567678781812) を設けた。このうち分節手がかりを4つ入れる群は、2つのチャンクごとに分節手がかりが入れられる交互群 (-123234-345456-567678-781812)、分節手がかりが入れられる場所に規則性がない非周期群 (-123234-345-456567678-781812)、8つのチャンクのうちの半分にランダムに分節手がかりが入れられるランダム群 (\*123\*234\*345\*456\*567\*678\*781\*812 ; 8つの\*の内の4つにランダムに分節手がかり) の3群に分けられた。なお、Stempowski et al. と同様に、試行間間隔は2秒で、分節手がかりは0.5秒で行われた。

実験の結果、8つの分節手がかりが与えられた群のパターン習得が最も優れ、4つの分節手がかりを入れられた3つの群がそれに続き、分節手がかりが与えられなかった群の習得が一番悪かった。また4つの分節手がかりが入れられた3群には差は示されなかった。つまり、分節手がかりの位置に関わらず、分節手がかりが多いほど学習が促進されていた。さらに、4つの分節手がかりが入れられた群では、習得期には分節手がかりの直後の試行でのエラーが少なくなっていたが、分節手がかりが除去されるとその試行でのエラーは増加を示した。以上のことは、分節手がかりが時間的間隔の後の次反応に対する手がかりとして機能するという Capaldi (1971, 1992, 1994) の知見に一致するものであった。

T迷路を用いた Fountain et al. (1984) や6つの並んだ光を用いた Fountain (1990) の研究は、分節手がかりが法則学習に影響を与えることを示唆していた。一方、習得期に分節手がかりで遂行が良かった条件ほどその手がかりが除去されると学習が崩れるという Stempowski et al. (1999) の報告と法則構造に関係なく分節手がかりが何回与えられたかによる影響を受けることを示した Fountain, Benson, & Wallace (2000) の実験は、分節手がかりは弁別刺激となって項目間連合を隠蔽するという Capaldi の理論に一致する。ここで実験手続きに注目すると、分節手がかりが法則学習に影響することを示した Fountain et al. (1984) と Fountain (1990) の2つの研究は、Stempowski et al. (1999) と Fountain, Benson, & Wallace (2000) のように8方向スキナー箱を用いた実験では

なかったことが問題として挙げられる。

そこで、Fountain, Rowan, & Carman (2007) は、分節手がかりが弁別刺激として機能していることが示されているのと同じパラダイムである 8 方向スキナー箱を用いて、構造的に曖昧なパターンにおいて分節手がかりが法則構造に影響を与えるかについて検討している。用いられた 1234345656787812 系列は、分節手がかりの位置を変えることによって構造が異なる系列になる。つまり、1234-3456-5678-8912 というように分節化すればそれは Run 構造からなる系列であり、元の 1234345656787812 の最後の 12 を最初に持って来て 1212-3434-5656-7878 と分節化すれば Trill 構造の系列となる。実験の結果、Run として分節化された群は、Trill として分節化された群よりもパターン学習が容易であった。なお、Trill として分節化された 1212-3434-5656-7878 でエラーが多いのは、各チャンクの第 1 項目と各チャンクの第 3 項目であった。第 3 項目でのエラーは、第 1 チャンクの第 3 項目の 1 が 3 に、第 2 チャンクの第 3 項目の 3 が 5 に、第 3 チャンクの第 3 項目の 5 が 7 に、第 4 チャンクの第 3 項目の 7 が 1 にというように、4 項目からなる Trill を Run (1234, 3456, 5678, 7812) と捉えたことを示すエラーであった。これに対し、Run としての分節化 (つまり 1234-3456-5678-8912) では各チャンクの第 1 項目のエラーが多いのみであった。Trill 構造よりも Run 構造の方が系列の学習が容易であるという Run バイアスは、人間の系列学習 (Restle & Brown, 1970) でも報告されている。同じ系列でも分節手がかりの位置の違いによって異なるパターン学習がなされたということは、分節手がかりが法則学習過程に影響していることを示唆する結果である。

法則構造に一致する正分節化は無分節よりもパターン学習を促進し、法則構造に一致しない誤分節化はパターン学習を阻害することは、人間においても (Bower & Winzenz, 1969; Restle, 1972) ラットにおいても (Fountain, et al., 1984) 示され、これらの結果は法則学習理論からの予測に一致することはすでに述べた。Wallace, Rowan, & Fountain (2008) は、分節化手がかりの位置とチャンクの長さとの関係を検討するために、3 項目チャンクと 5 項目チャンクという 2 つの系列を用いて正分節と誤分節の影響を検討している。3 項目チャンク 123-345-567-781-187-765-543-321 は、チャンク内はプラス 1 法則、チャンク間はプラス 2 法則、ミラー構造という 3 レベル入れ子法則構造を有する系列であり、無分節群は 12334556778187765543321、正分節群は 123-345-567-781-187-765-543-321、誤分節群は 1-233-455-677-811-877-655-433-21 である。これに対し、5 項目チャンク 12345-56781-18765-54321 は、チャンク内はプラス 1 法則、チャンク間はプラス 4 法則、ミラー構造 という 3 レベル入れ子構造で、無分節群は 12345567811876554321、正分節群は 12345-56781-18765-54321、誤分節群は 123-45567-81187-6554321 であった。なお、実験 1 では試行間間隔は 1 秒、分節手がかりは 3 秒、毎日 20 回繰り返しで 14 日間行われ、実験 2 では実験 1 と同じ 5 項目チャンクが用いられ、短試行間間隔は 1 秒、分節手がかりは他よりも短い 0.5 秒であった。

5 項目チャンクでは、長い分節手掛かりを用いた実験 1 において、正分節群の遂行が一番良く、これに無分節群が続き、誤分節群が一番遂行が悪いという法則学習理論に一致する結果が得られた。しかし、3 項目チャンクでは正分節群の遂行が一番優れていたが、無分節群と誤分節群では差がなかった。短い分節手掛かりを用いた実験 2 でも、正分節群の遂行が一番優れていた

が、無分節群と誤分節群では差がなかった。また、実験2の5チャンク系列では分節手がかりが除去されると、無分節群と誤分節群はほとんど影響を受けなかったが、正分節群のみで遂行がかなり悪化した。特に分節手がかりがあった時にはエラーが少なかった分節手がかりの次の試行(チャンクの第1試行)でエラーが著しく増加していた。これは時間的分節手がかりが弁別手がかりとして機能するという弁別学習(Capaldi, 1971, 1992)からの予測に一致し、法則学習では説明できないものである。つまり、Wallace, Rowan, & Fountain (2008)の実験では、分節手がかりが法則学習に影響することを示唆する結果と、弁別手がかりになることを示す結果の両者が得られたということになる。

### おわりに——系列学習に関与する脳部位研究と比較認知研究

前節で検討したように、分節手がかりの効果について、Fountainの研究は、分節手がかりが法則学習過程に影響するという報告(Fountain, Henne, & Hulse, 1984; Fountain, 1990; Fountain, Rowan, & Carman, 2007)、弁別手がかりになるという報告(Stempowski, Carman, & Fountain, 1999; Fountain, Benson, & Wallace, 2000)、その両者共を示した報告(Wallace, Rowan, & Fountain, 2008)の3つに分類することができる。しかし、近年Fountainは、ラットが法則学習と弁別学習のどちらかの1つの過程を用いているかということではなく、系列学習には複数の過程が関与していることを認めている(e.g., Fountain, Rowan, Muller, Kundey, Pickens, & Doyle, 2012)。その背景には、Fountain & Rowan (2000)などの生理学的な研究によって、系列学習に関与する脳部位の機能が解明されてきたことがある。

Fountain & Rowan (2000)は、海馬の可塑性をブロックする薬物であるMK-801(ジゾシルピド)が系列学習にどのような影響を与えるかを調べている。なお、MK-801は、認知崩壊や精神病を誘発する薬物であり、精神障害のモデル動物を作成する目的で使用されることが多い。実験ではMK-801を投与されたラットは、最終チャンクの第3項目だけが法則構造と一致しないViolationパターン(123-234-345-456-567-678-781-818)においてViolation項目とチャンクの第1項目の成績が悪かったが、チャンク内でプラス1法則が支配している項目(第2・3項目)は影響を受けなかった。また、Violation項目では実験終了時まで8ではなく2という法則構造に即したエラーを示していた。つまり、海馬が損傷された場合には法則学習は影響を受けないが、項目間連合の学習が阻害されていた。さらに、実験3では、MK-801を投与されたラットに7チャンクからなるPerfectパターン123-234-345-456-567-678-781で訓練した後、8チャンク目に法則構造に一致する812を付加した場合には、この付加されたチャンクの第1項目に対するエラーは多かったが、第2・3項目に対しては正しい反応が示された。これに対し、7チャンクまでと構造が一致しないViolation項目を含む818を付加した場合には、3項目ともエラーが多くなった。海馬を損傷したラットは、項目間連合が阻害されることに加え、以前に学習したのと同じ構造には対応できるが、以前と異なる構造に対しては対応できないということになる。いずれにしても、海馬損傷によって影響を受ける部分と影響がない部分があるということは、分節化手がかりの効果が一様ではないことと同様に、系列学習には複数の学習過程が関与していることを示して

いることになる。

Fountain, Rowan, Kelley, Willey, & Nolley (2008) は、8つの3項目チャンクからなる123-234-345-456-567-678-781-812系列を用いてニコチンの影響を検討している。その結果、ニコチンを投与されたラットは、法則構造であるプラス1法則が適用されるチャンク内の第2・3項目の学習の習得が若干遅れるとしても、最終的には生理食塩水を摂取した統制群のラットと同じレベルに到達するのに対して、チャンクの境界にある第1項目の学習は最終的にも阻害されたことが示されている。チャンク内の第1項目は分節手がかりとの項目間連合が働いている項目であると考えられているため、ニコチンはチャンク内の法則学習とチャンク境界の項目間連合学習では異なる影響を示すことになる。これは、Fountain & Rowan (2000) と同様に、系列学習には複数の学習過程が関与していることを示唆するものである。

その後も Fountain はニコチンの効果 (Pickens, Rowan, Bevins, & Fountain, 2013) に加えて、アトロピン (Fountain, Rowan, & Wollan, 2013) やメチルフェニデート (Rowan, McCarty, Kunder, Osburn, Renaud, Kelley, Matoushek, & Fountain, 2015) 投与の効果なども検討し、系列研究に関与する複数の脳部位についての知見を深めている。

Fountain は研究の系図として、Hull (1943, 1952)、Hovland (1952)、Sheffield (1951)、Stanley (1952)、Hulse (1978) に続く者として自身を位置づけている。Hull に研究の源を置くという点では、走路で餌報酬を用いるという非常にオーソドックスな研究の枠内から出ることなく学習理論の検討を行っていた Capaldi (1967, 1992, 1994) と共通する。しかし、Fountain の研究は、脳内刺激を報酬として用いることや、近年は薬物の効果などから系列学習を司る脳部位も探ろうとしていることから分かるように、学習理論の枠内に留まらず、神経科学的な色合いが強いことにその特徴がある。これは、Johns Hopkins 大学で Hulse の研究室で系列学習研究に取り組んでいた Fountain がその後 Johns Hopkins 大学の脳生理学者 Annau に従事したことが大きく影響を与えている。スキナー箱で脳内刺激の強度を報酬として用いるという Fountain & Annau (1984) の論文に、現在の神経科学的な色合いも持つ Fountain の研究の萌芽を見ることができる。

Fountain の研究のもう1つの特徴は、ラットに留まらず、種間の比較という比較認知的な立場で系列学習を検討していることにある。同じ系列を人間とラットの両者に提示して、ラットも人間も同じようにパターンの階層構造を符号化することを報告していた Fountain & Rowan (1995b) がその代表的な研究に当たる。また、Fountain, Krauchunas, & Rowan (1999) は、マウスにおける系列学習を検討している。実際には、異なる種に対して同じような学習状況や課題を設定することは難しい。しかし、決められた順序でレバーを押すことをラットに要求するという Fountain が考案した8方向スキナー箱は並んでいるボタンを正しい順序で押していくという人間の系列学習で古くから用いられていた学習状況 (e.g., Restle, 1972) と極めて近いものであり、同じような課題場面で人間と様々な動物種の種間比較がなされることの利点は大きい (eg., Rowan, Fountain, Kunder, & Miner, 2001)。最近 Garlick, Fountain, & Blaisdall (2017) は、スクリーン上に映し出された点をつつくという場面で、ハトも人間やラットと同様に系列構造を学習できるが、それは低いレベルの手がかりである項目間連合手がかりがない場合に限られることを報告している。

以上、餌を報酬とする直線走路実験から脳内刺激を用いた8方向スキナー箱実験に至る新しい

実験装置の開発の経緯、法則構造に関する Fountain の代表的な研究や分節手がかりに関する研究に焦点を当てながら、Fountain の研究について検討してきた。彼の研究は学習理論の検討に留まらず、神経科学的研究や比較認知研究の色彩を加えたことから新たな展開を示しており、今後さらなる発展が期待され、学習研究において目を離せない研究者の一人である。

## 引用文献

- Amsel, A. (1958). The role of frustrative nonreward in noncontinuous reward situations. *Psychological Bulletin*, 55, 102-119.
- Amsel, A. (1967). Partial reinforcement effect on vigor and persistence: Advance in frustration theory derived from a variety of within-subjects experiments. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.) *The psychology of Learning and Motivation: Advance in Research and Theory*. Vol. 1. New York: Academic Press.
- Bower, G. H., & Winzenz, D. (1969). Group structure, coding, and memory for digit series. *Journal of Experimental Psychology*, 80, 1-17.
- 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., & Payne, T. L. (1986). Temporal cuing of runs in series of reward events reduces interevent anticipation. *Animal Learning & Behavior*, 14, 190-196.
- Capaldi, E. J. (1966). Partial reinforcement: A hypothesis of sequential effect. *Psychological Review*, 73, 459-477.
- 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. (1971). Memory and learning: A sequential viewpoint. In W. K. Honig & P. H. R. James (Eds.), *Animal memory*. New York: Academic Press.
- Capaldi, E. J. (1992). Levels of organized behavior in rats. In W. K. Honig & Fetterman (Eds.) *Cognitive aspects of stimulus control*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. pp. 385-404.
- 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., & 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., Verry, D. R., Nawrocki, T. M., & Miller, D. J. (1984). Serial learning, interitem associations, phrasing cues, interference, overshadowing, chunking, memory, and extinction. *Animal Learning & Behavior*, 12, 7-20.
- 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.]
- Fountain, S. B. (1990). Rule abstraction, item memory, and chunking in rat serial-pattern tracking. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 16, 96-105.
- 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., & Annau, Z. (1984). Chunking, sorting, and rule-learning from serial patterns of brain-stimulation reward by rats. *Animal Learning & Behavior*, 12, 265-274.

- Fountain, S. B., & Benson, D. M. (2006). Chunking, rule leaning, and multiple item memory in rat interleaved serial pattern learning. *Learning and Motivation*, 37, 95–112.
- Fountain, S. B., Benson, A. M., & Wallace, D. G. (2000). Number, but not rhythmicity, of temporal cues determines phrasing effects in rat serial-pattern learning. *Learning & Motivation*, 31, 301–322.
- Fountain, S. B., Evensen, J. C., & Hulse, S. H. (1983). Formal structure and pattern length in serial pattern learning by rats. *Animal Learning & Behavior*, 11, 186–192.
- 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.
- Fountain, S. B., & Hulse, S. H. (1981). Extrapolation of serial stimulus patterns by rats. *Animal Learning & Behavior*, 9, 381–384.
- Fountain, S. B., Krauchunas, S. M., & Rowan, J. D. (1999). Serial-pattern learning in mice: Pattern structure and phrasing. *Psychological Record*, 49, 173–192.
- Fountain, S. B., & Rowan, J. D. (1995a). Sensitivity to violations of “run” and “trill” structure in rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 21, 78–81.
- Fountain, S. B., & Rowan, J. D. (1995b). Coding of hierarchical versus linear pattern structure in rats and humans. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 21, 187–202.
- Fountain, S. B., & Rowan, J. D. (2000). Differential impairments of rat serial pattern learning and retention induced by MK-801, an NMDA receptor antagonist. *Psychobiology*, 28, 32–44.
- Fountain, S. B., Rowan, J. D., & Benson, D. M., Jr. (1999). Rule learning in rats: Serial tracking in interleaved patterns. *Animal Cognition*, 2, 41–54.
- Fountain, S. B., Rowan, J. D., & Carman, H. M. (2007). Encoding structural ambiguity in rat serial pattern learning: The role of phrasing. *International Journal of Comparative Psychology*, 20, 25–34.
- Fountain, S. B., Rowan, J. D., Kelley, B. M., Willey, A. R., & Nolley, E. P. (2008). Adolescent exposure to nicotine impairs adult serial pattern learning in rats. *Experimental Brain Research*, 187, 651–656.
- Fountain, S. B., Rowan, J. D., Muller, M. D., Kundery, S. M. A., Pickens, L. R. G., & Doyle, K. E. (2012). The organization of sequential behavior: Conditioning, memory, and abstraction. In T. R. Zentall and E. A. Wasserman (Eds.), *Handbook of Comparative Cognition* (pp. 594–614). Oxford: Oxford University Press.
- Fountain, S. B., Rowan, J. D., & Wollan, M. O. (2013). Central cholinergic involvement in sequential behavior: Impairments of performance by atropine in a serial multiple choice task for rats. *Neurobiology of Learning and Memory*, 106, 118–126.
- Fountain, S. B., Schenk, D. E., & Annau, Z. (1985). Serial-pattern-learning processes dissociated by trimethyltin exposure in rats. *Physiological Psychology*, 13, 53–62.
- Fountain, S. B., Wallace, D. G., & Rowan, J. D. (2002). The organization of sequential behavior. In S. B. Fountain, M. D. Bunsey, J. H. Danks, and M. K. McBeath (Eds.), *Animal Cognition and Sequential Behavior: Behavioral, Biological, and Computational Perspectives* (pp. 115–150). Boston, MA: Kluwer Academic Publishers.
- Garlick, D., Fountain, S. B., & Blaisdell, A. P. (2017). Serial pattern learning in pigeons: Rule-based or associative? *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, 43, 30–47.
- Hovland, C. I. (1952) A communication analysis of concept learning. *Psychological Review*, 59, 461–472.
- Hull, C. L. (1943). *Principles of behavior*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Hull, C. L. (1952). *A behavior system: An introduction to behavior theory concerning the individual organism*. New Haven: Yale Univ. Press.
- 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.
- Hulse, S. H., & Campbell, C. E. (1975). “Thinking ahead” in rat discrimination learning. *Animal Learning &*



- Behavior*, 3, 305–311.
- Hulse, S. H., & Dorsky, N. P. (1977). Structural Complexity as a determinant of serial pattern learning. *Learning & Motivation*, 8, 488–506.
- Hulse, S. H., Fowler, H., & Honig, W. K. (1978). *Cognitive processes in animal behavior*. Hillsdale, N. J.: Erlbaum.
- Hulse, S. H., & O’Leary, D. K. (1982). Serial pattern learning: Teaching an alphabet to rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 8, 260–273.
- Hunter, W. S. (1920). The temporal maze and kinaesthetic sensory processes in the white rat. *Psychobiology*, 2, 1–17.
- Kotovsky, K., & Simon, H. A. (1973). Empirical tests of a theory of human acquisition of concepts for sequential patterns. *Cognitive Psychology*, 4, 399–424.
- Kundey, S. M. A., & Fountain, S. B. (2010). Blocking in rat serial pattern learning. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 36, 307–312.
- Lashley, K. S. (1951). The problem of serial order in behavior. In L. A. Jeffress (Ed.), *Cerebral mechanisms in behavior*. New York: Wiley. pp. 112–131.
- Olton, D. S. (1978). Characteristics of spatial memory. In S. H. Hulse, H. Fowler, & W. K. Honig (Eds.), *Cognitive processes in animal behavior*, Hillsdale, NJ: LEA, pp. 341–373.
- Olton, D. S., Shapiro, M. L., & Hulse, S. H. (1984). Working memory and serial patterns. In H. L. Roitblat, T. G. Bever, & H. S. Terrace (Eds.), *Animal cognition* (pp. 171–182). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Pickens, L. R. G., Rowan, J. D., Bevins, R. A., & Fountain, S. B. (2013). Sex differences in adult cognitive deficits after adolescent nicotine exposure in rats. *Neurotoxicology and Teratology*, 38, 72–78.
- Restle, F. (1970). Theory of serial pattern learning: Structural trees. *Psychological Review*, 77, 481–495.
- Restle, F. (1972). Serial patterns: The role of phrasing. *Journal of Experimental Psychology*, 92, 385–390.
- Restle, F. (1976). Structural ambiguity in serial pattern learning. *Cognitive Psychology*, 8, 357–381.
- Restle, F., & Brown, E. R. (1970). Serial pattern learning. *Journal of Experimental Psychology*, 83, 120–125.
- Restle, F., & Burnside, B. L. (1972). Tracking of serial patterns. *Journal of Experimental Psychology*, 95, 299–307.
- Rowan, J. D., Fountain, S. B., Kundey, S. M. A., & Miner, C. L. (2001). A multiple species approach to sequential learning: Are you a “man or a mouse”? *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, 31, 435–439.
- Rowan, J. D., McCarty, M. K., Kundey, S. M. A., Osburn, C. D., Renaud, S. M., Kelley, B. M., Matoushek, A. W., & Fountain, S. B. (2015). Adolescent exposure to methylphenidate impairs serial pattern learning in the serial multiple choice (SMC) task in adult rats. *Neurotoxicology and Teratology*, 51, 21–26.
- Sheffield, F. D. (1951). The contiguity principle in learning theory. *Psychological Review*, 58, 362–367.
- Skinner, B. F. (1934). The extinction of chained reflexes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 20, 234–237.
- Stanley, W. C. (1952). Extinction as a function of the spacing of extinction trials. *Journal of Experimental Psychology*, 43, 249–260.
- Stempowski, N. K., Carman, H. M., & Fountain, S. B. (1999). Temporal phrasing and overshadowing in rat serial-pattern learning. *Learning and Motivation*, 30, 74–100.
- 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 (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 (1993). 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*, 64, 67-71.
- 矢澤久史 (1995). ラットの系列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*, 66, 373-378.
- 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.
- 矢澤久史 (2012). ラットにおける系列学習研究の動向(3)—系列位置学習—. *東海学院大学紀要*, 6, 315-324.
- 矢澤久史 (2013a). ラットにおける系列学習研究の動向(4)—計数—. *東海学院大学紀要*, 7, 193-201.
- 矢澤久史 (2013b). ラットにおける系列学習研究の動向(5)—チャンキング—. *東海学院大学紀要*, 7, 203-214.
- 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.
- Wallace, D. G., Rowan, J. D., & Fountain, S. B. (2008). Determinants of phrasing effects in rat serial pattern learning. *Animal Cognition*, 11, 199-214.
- Willingham, D. B. (1998). A neuropsychological theory of motor skill learning. *Psychological Review*, 105, 558-584.

(受理日 2017年12月20日)