

C57BL/6J 系マウスの複合弁別訓練における 手掛り次元の選択

— 刺激の明瞭度と先行訓練の影響⁽¹⁾⁽²⁾ —

石 井 澄

問 題

学習理論の直面する問題の一つに、刺激選択の現象がある。とくに、複合刺激の条件づけにおいて、予め一方の刺激次元を単独で条件づけておくと、後に付加される次元への学習が、最初から複合条件づけを行なった場合に比べ阻害されるという、いわゆる「ブロッキング」(Kamin, 1969) については多くの実験的検討がなされてきた。

ブロッキングの強度に影響する要因の一つに、刺激間の相対的な明瞭度がある。Feldman (1975) は、水を強化子とした条件性弁別において、ラットに対し最初に音を弁別刺激とした訓練を行ない、その後光を付加して複合訓練を行なった。複合訓練後のテストにおいて光に対して示された学習の強度は、光の強度の単調増加関数であった。

Feldman の実験では、先行訓練を受けた刺激が付加された刺激への条件づけを妨害する程度が、付加された刺激の強度により影響を受けることは見出されたが、先行訓練刺激への学習の強度は付加刺激による影響を受けていないとされている。ところが筆者(石井, 1984) は、後から付加される刺激の明瞭度が先行訓練刺激に比べ著しく大きい時には、複合訓練により先行訓練刺激に対する弁別行動が消失することを見出した。この実験では、C57BL/6J 系マウスを用いて最初に形態についての弁別を完成させ、その後明暗を新たな弁別刺激として付加し、120 試行の複合訓練を行なった。複合訓練後のテストでは明暗のみが手掛りとなっており、一たん習得されていた形態についての弁別行動は、新たに約30試行の訓練を行なった後に復活した。

このような現象は、後述するように従来の多くの理論から予測し得ないものであるが、明瞭度がより大きな刺激次元を用いた時にも同様にみられるものであろうか。本研究ではこの点を検討するため、形態次元に代えて、マウスにとって非常に明瞭度の大きな刺激次元とされる位置を、明暗と共に弁別刺激として用いて実験を行なった。

実験

方法

i) 被験体 C57BL/6J系マウスの雄30匹。実験開始時に90~150日齢の個体を用いた。

ii) 装置および弁別刺激 実験装置として、Fig. 1に示されたY字型弁別走路を用いた。装置の壁面は黒色に塗装された木製で、床は通電可能な格子となっている。左右のゴールボックス(G・B)の入口上方に、10×10cmの刺激呈示板(アクリル樹脂製)があり、これを光源箱(L・B)内の電球により60luxまたは5luxのいずれかに照明して、明暗次元の弁別刺激とした。また、位置次元としてはY字型走路の左右を用いた。

iii) 手続き 実験に先立ち、被験体を以下の5群にランダムに分割した(Table 1参照)。

① P-BP群：位置次元への先行訓練を弁別完成まで行ない、その後明暗次元を付加して複合訓練を40試行行なう。

② B-BP群：明暗次元への先行訓練を弁別完成まで行ない、その後位置次元を付加して複合訓練を40試行行なう。

③ BO-BP群：明暗への先行訓練を弁別完成後さらに100試行行ない、その後複合訓練を40試行行なう。

④ BO-BP+群：明暗についての先行訓練を弁別完成後さらに100試行行ない、その後複合訓練を100試行行なう。

⑤ BP群：最初から明暗と位置との複合弁別訓練を弁別完成まで行なう。

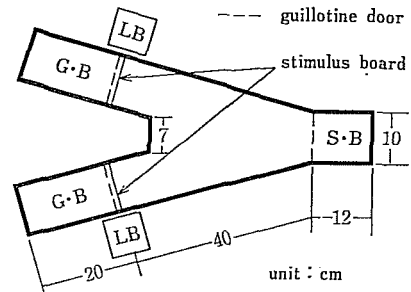


Fig. 1 Floor plan of apparatus

Table 1. Schedules of experiment

Groups	stage 1 (pretraining)	stage 2 (compound training)	test for dominance	stage 3
P-BP	position (to criterion)	40 trials		
B-BP	brightness (to criterion)	40 trials	10 trials with S+ in each dimension	training with subdominant dimension
BO-BP	brightness (100 overtraining)	40 trials	opposite side	in the test
BO-BP+	brightness (100 overtraining)	100 trials		
BP	—	to criterion		

実験は以下の順に進めた。

(1) 装置内自由探索：被験体を装置に馴化させるため、訓練開始の前日に各個体に20分間の装置内自由探索を許した。その際、出発箱 (S・B) と G・B のギロチンドアは取り外してあり、また、刺激呈示板の照度は左右ともに30luxとした。

(2) 単一次元の弁別訓練 (stage 1)：自由探索の翌日から、BP群を除く各群の被験体に対し、明暗あるいは形態のいずれか一方のみの弁別訓練を行なった。試行数は一日40試行（ただし初日のみ20試行）で、10試行を1ブロックとし、ブロック内での9試行以上の正反応をもって弁別完成基準とした。

一試行毎の手続きは以下のように行なった。被験体をS・Bへ入れ、5～10秒後の、被験体が刺激呈示方向へ頭を向けている時点で、ギロチンドアを開けた。それから5秒後に、正刺激側のG・Bを除くすべての床面に、25～30Vの電撃を与えた。訓練は矯正法で行ない、被験体が最初にG・Bへ進入した時点で反応の正誤を判定した。

明暗次元のみの弁別訓練では、正刺激(60lux)の呈示位置をゲラマン系列にしたがい、試行毎にランダムとした。また、位置次元の弁別訓練では、試行毎に一方の刺激呈示板を60lux、他方を5luxの照度とし、明暗次元を非当該手掛りとして呈示した。

(3) 複合弁別訓練 (stage 2)：単一刺激次元への訓練が終了した翌日から、明暗と位置を当該手掛りとして複合呈示し弁別訓練を行なった。試行数は、P—BP群、B—BP群およびBO—BP群については40試行（1日間）、BO—BP+群については100試行（3日間）であった。また、BP群の各個体では弁別完成基準に達するまで訓練を行なった。訓練の進め方等についてはstage 1 と全く同様であった。

(4) 優位次元の判定テスト：stage 2 の複合訓練終了後、明暗と位置のいずれの次元がより優位な手掛りとなっているかについて、テストを行なった。すなわち、各試行毎に、明暗次元の正刺激を位置次元の負の選択肢側に、逆に明暗次元の負刺激を位置次元の正の選択肢側に呈示し、被験体がいずれの側に走行するかを10試行にわたりテストすることにより、優位な刺激次元を判定した。なお、このテストでは、左右いずれのG・Bでも電撃を与えなかった。

(5) 非優位な次元に対する弁別訓練 (stage 3)：(4)のテストにおいて優位でない判定された刺激次元に対して、テストの翌日より弁別完成基準に達するまで訓練を行なった。手続きおよび弁別完成基準は stage 2 と同一であった。

結果

stage 1 において、各群の被験体が弁別完成に要した平均試行数を Table 2 に示した。ここでは、P—BP群が他の3群に比べ極めて少ない試行数であることがみられ、位置次元が明暗次

元よりも明瞭度が大であることを示している。

stage 2 の複合訓練期では、BP 群を除く各群の正反応率はほぼ 100% を示し続けた。また BP 群は、弁別完成基準に達するまでに平均 23.3 試行を要した。

複合訓練終了後のテストにおいて、各群の被験体が明暗、位置の各次元の正刺激を選択した平均回数を Table 3 に示した。stage 1 で先行訓練を受けた群は、いずれも先行訓練を受けた刺激次元を優位に選択しているが、B-BP 群のみは、明暗次元の先行訓練を受けたにもかかわらず、テストでは位置次元が選択されている。また、BP 群では明らかに位置次元が優位な手掛りとなっている。

最後に、stage 3 において各群が非優位な刺激次元の弁別完成に要した平均試行数を、Table 4 に示した。BP 群を除く各群は、stage 1 に比べて少数の試行で弁別を完成しており、とくに BO-BP 群と BO-BP+ 群では、大半の個体が最初の 10 試行ですでに基準を上回る正反応率を示した。

討論

本実験で得られた知見を要約すると、以下のとおりである。

- (1) 位置次元は明暗次元よりも明瞭度が大きく、両者を複合呈示して弁別訓練を行なうと、前者のみが行動制御力を獲得する (BP 群)。
- (2) 位置次元について予め先行訓練を行なった後に複合訓練に移行した場合も、位置次元のみが手掛り化される (P-BP 群)。
- (3) これに対し、明暗次元について先行訓練を行なった場合は、先行訓練の程度により、複合

Table 2. Mean number of trials with each group to reach the criterion in stage 1

Groups	stimulus	number of trials
P-BP	position	25.0
B-BP	brightness	88.3
BO-BP	brightness	91.7
BO-BP+	brightness	90.0

Table 3. Mean number of choice responses with each group based on each dimension in the test after stage 2

Groups	choiced dimension	
	brightness	position
P-BP	0.1	9.9
B-BP	0.3	9.7
BO-BP	9.9	0.1
BO-BP+	9.7	0.3
BP	0.0	10.0

Table 4. Mean number of trials with each group to reach the criterion in stage 3

Groups	stimulus	number of trials
P-BP	brightness	53.3
B-BP	brightness	18.3
BO-BP	position	11.7
BO-BP+	position	11.7
BP	brightness	65.0

訓練後の優位な刺激次元が異なる。すなわち、先行訓練を弁別完成時まで行なった場合 (B-B P 群) では、複合訓練後の優位な次元は位置であるが、弁別完成後さらに 100 試行の訓練を続けた場合 (B O-B P 群, B O-B P + 群) は、複合訓練の試行数の多少にかかわらず、明暗次元が優位な手掛りとなる。

このような実験結果の意味するものについて、以下で考察を加えてみる。

まず、本実験では一方の次元への先行訓練により、後から付加された次元への学習が妨害されたであろうか。

P-B P 群では、先行訓練を受けた位置次元のみが、複合訓練後に行動制御力を獲得しているが、先行訓練を行なわない B P 群でも同様の結果が得られているため、明暗次元の手掛り化が生じなかった原因を位置次元への先行訓練によるものと断定することはできない。

さらに、P-B P 群では、明暗次元に対する学習の機会が複合訓練における 40 試行のみであり、この次元の習得に必要な約 90 試行 (stage 1 での B-B P 群等の結果を参照) の半数にも満たないため、弁別がなされなくても当然であると考えられる。

そこで、この群では stage 3 での明暗次元の弁別完成までに、複合訓練と単独訓練とを併せて何回の試行を必要としたかを計算すると、 $53.3 + 40 = 93.3$ 試行となる。この値は、上述の単独での弁別に要する試行数とほぼ等しい。したがって、P-B P 群では、複合訓練中に明暗次元に対して生じた学習は、単独で明暗を呈示した場合と同じ程度で進行していたと推測される。つまり、この群では位置次元への先行訓練によって、複合訓練における明暗次元への学習は何ら影響を受けていない。

一方、B-B P 群では、複合訓練後には付加された次元である位置が優位な手掛りとなっており、また B O-B P 群と B O-B P + 群では、一応明暗次元が優位であるものの、位置次元についても stage 3 での所要試行数から考えて、ほぼ完全な習得がなされたと考えてよい。したがって、本実験では、先行訓練刺激による付加刺激に対する妨害効果はほとんど生じなかったと推測される。

ところで、このような結果は、B-B P 群で複合訓練後に、後から付加された位置次元が優位な手掛りとなっていた事実と共に、従来の多くの学習理論からの説明が困難である。

何故ブロッキングが生じるのかについてはいくつかのモデルが提出されているが、ここでは代表的なものとして、Rescorla and Wagner (1972) のモデルと、Mackintosh (1975) のモデルをとり上げて検討を加える。

Rescorla and Wagner (1972) は、一定強度の強化刺激により生じうる連合強度に漸限値 λ を仮定し、予め先行訓練により刺激 A に対して十分な条件づけを行なうと、A の獲得した連合強度 V_A が λ に等しくなり、その後新たな刺激 B を付加しても、もはや強化子により学習の進行する余地がないためにブロッキングが生じると考えた。

彼らのモデルは、各条件刺激に対して試行毎に生じる連合強度の変化を以下の式で表している。

$$\Delta V_x = \alpha_x (\lambda - V_x) \quad (1)$$

ここで、 α_x は刺激 X の明瞭度により規定される係数であり、また V_x は、その試行において存在するすべての刺激の持つ連合強度の総和である。ブロッキングの手続きでは、先行訓練により、複合訓練の開始時においてすでに $V_A = \lambda$ となっているため、付加された刺激 B については複合訓練を反復しても連合強度の増加の余地がない。これが彼らのモデルによるブロッキングの説明である。

彼らのモデルでは、刺激の明瞭度は単に一試行毎の連合強度の増加の割合を決定する係数の役割を果たしているにすぎず、またその値は不変である。したがって、この値が 0 でない限り、明瞭度の小さい刺激でも十分な先行訓練を行えば、連合強度を漸限值にまで増大させ得るので、付加される刺激の明瞭度の如何に関らずその刺激への条件づけを妨害することになる。また、このようにして獲得された先行訓練刺激の連合強度が複合訓練により減少することは、彼らのモデルではあり得ない。

ところが、本実験では、BP 群を除くいずれの群においても、一方の刺激次元に対して十分な先行訓練を行なっているにもかかわらず、後から付加された次元への学習はほとんど妨害を受けていない。また、B-BP 群では、先行訓練を受けた明暗次元への弁別行動が複合訓練後に消失しているが、これは付加された位置次元による影響を受けたものと考えられる。このような結果は、Rescorla and Wagner のモデルからは予測され得ないものである。

一方、Mackintosh (1975) は、弁別学習を 2 つの過程から成立するものと考えた。すなわち、当該刺激次元へ注意を向け非当該次元を無視することの学習と、事象間の連合学習の過程である。

彼のモデルを前述の Rescorla and Wagner のモデルで用いた記号で等式化すると、以下のようになる。

$$\Delta V_A = \alpha_A (\lambda - V_A) \quad (2)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{ただし、} V_A > V_x \text{ なら、} \alpha_A \text{ は増加} \\ V_A \leq V_x \text{ なら、} \alpha_A \text{ は減少} \\ (0 \leq \alpha_A \leq 1) \end{array} \right\} \quad (3)$$

ここで、 α_A は刺激 A に対する動物の注意の大きさを意味し、また V_x は、 A 以外に存在する

あらゆる刺激の持つ連合強度の中で最大のものを指す。

彼のモデルによれば、2つ以上の刺激についての連合強度の増加は、等式(2)に従って互いに独立に生じるが、一つの刺激がすでに大きな連合強度を有している場合には、(3)の式により、他の刺激に対する注意 α が試行毎に減少するために、それらの刺激への連合強度の増加が抑制される。

彼のモデルの他の一つの特徴は、 α の値が経験により0から1まで変化しうるものであり、かつその値が行動の制御に直接的に影響すると仮定していることである。つまり、いくら大きな連合強度をもつ刺激であっても、それに対する注意が小さいと弁別行動は生じない。

しかし、本実験の結果はこれらの仮説には一致しない。まず、Mackintosh のモデルからは、先行訓練刺激のもつ連合強度が大きいために、後に付加された刺激に対する注意の大きさが、(3)の式に従って試行毎に減少し、それ故(2)式の係数が小さくなるため、連合強度の増加の速度も減少すると予測されるが、そのような影響はいずれの群でもみられていない。

また、B-BP群では、明暗次元についての連合強度が先行訓練により増加しているため、複合訓練中に(3)式に従って位置次元への注意が減少し、明暗次元が優位な手掛りとなると共に、位置次元に対する弁別行動が不完全になることが予測されるが、実験結果では逆に明暗次元の弁別行動が消失している。

このように、本実験で見られた現象は Mackintosh のモデルには合致しないものであると思われるが、もし、B-BP群において、先行訓練の終了時に明暗次元が獲得した連合強度が、漸限值 λ に程遠いものであると仮定できるなら、彼のモデルによる説明が成り立つように見える。つまり、この仮定をとれば、B-BP群で後に付加された位置次元は、複合訓練の開始時における連合強度は小さいものの、それへの注意の初期値が大であるために、(2)式による一試行毎の連合強度の増加の速度が大きく、したがって、注意の大きさは(3)式に従って次第に減少していくが、幾回かの試行の後には獲得した連合強度が、明暗次元のそれを上回ることがあり得ることになる。そして、一たん連合強度で上回れば、その後の試行からは注意の大きさも増加に転じ、逆に明暗次元への注意は減少する。

さらに、より多くの先行訓練を行なったBO-BP群やBO-BP+群では、複合訓練後に明暗次元が優位となった点も、このような仮定に基づく説明が可能のように見える。すなわち、これらの群では、明暗次元が先行訓練により獲得した連合強度がB-BP群よりも大きく、したがって、位置次元が複合訓練においてそれを上回る連合強度を獲得することができなかったものと説明される。

しかし、このような仮定によっても説明の不可能な事実が存在する。

第1に、もしBO-BP群やBO-BP+群で、位置次元の連合強度が明暗次元のそれを上回ることが不可能であったなら、位置次元への注意は試行毎に減少し、とくにBO-BP+群で

は複合訓練の試行数が多いので、(3)式により注意は0に近づくことになる。前述のように Mackintosh のモデルでは、注意の大きさは弁別行動を直接規定するため、この群では stage 3 での位置次元の習得にある程度の試行数を要することが考えられる。しかし実際には、この群の多くの個体で最初から完全な位置の弁別がなされたのである。

さらに、筆者の別の実験(石井, 1984)では、形態次元への先行訓練を弁別完成後さらに100試行行なった場合でも、後に付加された明暗次元の方が優位な手掛りとなり、形態次元への弁別行動は完全に消失するという結果が得られているが、このような事実も前述の仮定が成り立ちにくいことを示している。何故なら、この群では、100試行の過剰訓練中にほとんど誤反応を示さない完全な弁別行動が示されたが、それに対応する連合強度が漸限值に程遠いと仮定することは困難だからである。

このように、Mackintosh のモデルでは付加的な仮定によっても説明が困難な事実が存在するが、その主要な原因は、彼のモデルが刺激に対する注意の大きさを経験により完全に変容し得るものと考えている点にある。しかし、刺激に対する注意の大きさが刺激の物理的特性により規定される面を持つことは確実である。そこで、Lovejoy (1968) が考えたように、刺激に対する注意を、刺激の明瞭度(強度)により規定される不変の部分と、学習経験により変化し得る部分とに分け、両者が加算的な形でその刺激への注意の大きさを形成する、という仮説を採用すると、本実験の結果を説明することが可能となる。

すなわち、本実験で用いられたような明瞭度の大きい刺激次元では、各々の次元に向けられる注意が学習経験によらずともすでにある程度まで大きく、したがって弁別行動の形成のために訓練経験により増加させなければならない注意の量は比較的少ない。この経験により変化し得る注意の部分は選択的なものであり(Sutherland and Mackintosh, 1971; Trabasso and Bower, 1968)、一方への先行訓練によりその次元への注意が増加すれば、他の次元への注意が減少する。

本実験では、明暗次元の明瞭度が位置次元に比べわずかに小さいため、複合訓練では位置が優位な手掛りとなり(BP群)、また明暗次元への先行訓練を弁別完成まで行なっても、注意の総量が位置次元へのそれを上回ることができない(B-BP群)が、先行訓練の量をさらに増加させると、注意の変部分さがさらに明暗次元へ集中するようになり、複合訓練後には明暗次元の方がより優位な手掛りとなる(BO-BP群, BO-BP+群)。しかし、いずれの群でも、刺激の明瞭度に基づく(他の刺激次元の存在による影響を受けない)注意の量が大きいため、複合訓練中には各次元に対する連合学習が並列的に進行し得る。

本実験の結果は、動物の学習事態における注意に関して以上のような仮説を採用することにより、整合的に理解される。

結 語

刺激選択については、本論文で考察してきた2つの理論以外にもいくつかの理論（たとえば、Pearce and Hall, 1980 ; Wagner, 1978 など）があるが、いずれも本実験の結果を十分説明することができない。

これら多くのモデルに共通した難点の一つは、先に述べたように、経験の効果を過剰に大きく考えたことであるが、他の一つの問題点は Grossberg (1982) が指摘したように、これらの多くが「認知説」の立場に立ちながら、極めて少数の定式化されたモデルの中に多くの認知過程を包含させようとしたことである。このような過程は多くの研究（たとえば、Neisser, 1967）から、いくつかの異なった段階を持つと考えられる。したがって学習の領域においても、認知的な立場に基づく理論は、このような各段階に対応した形での「多重過程モデル」を考えることが必要となろう。

引用文献

- Feldman, J. M. Blocking as a function of added cue intensity. *Animal Learning and Behavior*, 1975, 3, 98—102.
- Grossberg, S. Processing of expected and unexpected events during conditioning and attention: A psychophysiological theory. *Psychological Review*, 1982, 89, 529—572.
- 石井 澄. C57BL/6J 系マウスの同時弁別学習における刺激選択 ——刺激の明瞭度と有効性の効果について—— 心理学研究, 1984, 54.
- Kamin, L. J. Predictability, surprise, attention, and conditioning. In B. Campbell and B. M. Church(Eds), *Punishment and aversive behavior*. New York: Appleton-Century Crofts, 1969.
- Lovejoy, E. *Attention in discrimination learning*. San Francisco: Holden-Day, 1968.
- Mackintosh, N. J. A theory of attention: Variations in the associability of stimuli with reinforcement. *Psychological Review*, 1975, 82, 276—298.
- Neisser, U. *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century Crofts, 1967.
- Pearce, J. M., and Hall, G. A model for Pavlovian learning: Variations in effectiveness of conditioned but not of unconditioned stimuli. *Psychological Review*, 1980, 87, 532—552.
- Rescorla, R. M., and Wagner, A. R. A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement. In A. H. Black and W. F. Prokasy (Eds), *Classical conditioning II: Current research and theory*. New York: Appleton-Century Crofts, 1972.
- Sutherland, N. S., and Mackintosh, N. J. *Mechanisms of animal discrimination learning*. New York: Academic Press, 1971.
- Trabasso, T. R., and Bower, G. H. *Attention in learning: Theory and research*. New York: Wiley, 1968.

Wagner, A. R. Expectancies and the priming of STM. In S. H. Hulse, H. Fowler, and W. K. Honig(Eds), *Cognitive processes in animal behavior*. Hillsdale, N. J.: Erlbaum, 1978.

脚注

- (1) 本研究に関しては、昭和57年度文部省科学研究費奨励研究(A)「学習事態における注意の競合過程に関する比較心理学的研究」(課題番号57710040)の助成を受けた。
- (2) 本研究における実験結果は、日本心理学会第45回大会で発表された。