

ラットの時間弁別学習における手がかり刺激の利用

木下和紀・坂田省吾

広島大学総合科学部人間行動研究講座

Use of cue stimulus during temporal discrimination in rats.

Kazunori KINOSHITA, and Shogo SAKATA

*Department of Behavioral Sciences, Faculty of Integrated Arts and
Sciences, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 724, Japan*

Abstract : A series of experiments examined the observing responses as the usage of a cue stimulus during temporal discrimination learning. The observing response was defined as pressing a lever which presented a cue stimulus but not contingent reinforcers. Five food deprived rats were examined using differential reinforcement of long latencies (DRLL) schedule with a two levers operant chamber. In the first procedure which was presented flicker stimuli automatically, acquired reinforcement effectively. The results showed that flicker stimulus became cue stimulus. The second procedure required a observing response to present a cue stimulus. However, observing response appeared little numbers. Next, we used more difficult procedures than the second one. These schedules have long DRLL value. In such schedules, the number of observing responses were more than that in easy schedule.

Keywords : cue, observing response, rats, temporal discrimination

はじめに

試行開始から設定時間以上の反応潜時の反応を強化することによって時間弁別行動を生じさせる反応潜時分化強化 (DRLL: differential reinforcement of long latencies) スケジュールをフリッカー光呈示下で、十分に訓練した後、フリッカー光の頻度を変えて呈示すると、ラットのレバー押し反応潜時がそれに引きずられて変化するということが知られている (坂田・実森・杉本、1981)。これは光刺激の持つ情報量の差によると考えられる。もし、ラットの行動がフリッカー光の呈示頻度によって制御されているのならば、フリッカー光を情報として受け取っていることになり、時間弁別の手がかりとしていることになる。一般にDRLLスケジュールにおける時間弁別の手がかりとしては、前の試行での反応潜時が挙げられる (Catania, 1970; Treisman, 1963)。前の試行での強化の有無を参考にして次の反応を決定しているのである。そのほかの手がかりとしては、Ito (1981)が、

ニホンザルを用いた実験の各反応の前に見本時間が呈示される見本時間つき反応潜時分化強化スケジュール（変形 DRLL）で使われたものがある。この実験は以下のようなものであった。実験箱の中に2つの反応パネルと1つのレバーがある。レバー押しは試行をスタートさせ、左のパネルに赤色光を点灯させる。DRLL の設定値である見本時間経過後、左のパネルの赤色光は消灯し今度は右のパネルに緑色光が点灯する。見本時間以上の潜時で右パネルに反応すれば強化される。左パネルへの反応や見本より短い潜時での右パネルへの反応は強化されなかった。このような訓練を行い見本時間を2種類としてセッション中に変化させると各見本時間は手がかりとしての機能を獲得し反応潜時の分化が認められた。これは、外部から挿入される刺激を手がかりとして利用していることを示している。フリッカー光呈示下での DRLL においても同様に、外部からの刺激を手がかりとして受け取っていると考えられる。これを明らかにするためには、手がかり刺激を被験体が自らの選択で得ることができる手続きを用いればよいであろう。そこで、本実験では時間弁別学習における観察反応の手続きを用いることにした。

ある行動を起こすのに必要な手がかり刺激を積極的に求める行動が観察反応である。例えば、道に迷ったときに人に道を尋ねたり、地図を見るといった行動も観察反応の一種であるといえる。Wyckoff (1952) によれば、「その反応をすることによって弁別刺激もたらされるような反応」は観察反応と定義される。呈示された弁別刺激の位置へ頭部を向ける、視線を向ける、といった反応も観察反応であるが、操作的定義として、ハト用のスキナー箱内にペダルを装着し、ペダル踏み反応を観察反応として計測した。その結果、観察反応が単に物理的な刺激の変化により維持されるものでなく、報酬であるエサの呈示には何の影響も与えることなく弁別刺激のみを生ずる反応が維持された。それはまた、「報酬スケジュールには影響を与えずそのスケジュールに関連した刺激を生み出すものが観察反応である。」ことも示している。このような観察反応の実験といわれるものは、ハトのほかにもサル (Lieberman, 1972)、ヒト (Case, Ploog & Fantino 1990) など様々な種類の動物で行われてきた。しかし、時間弁別において観察反応を用いた研究は行われていない。

目 的

時間弁別学習において、反応の手がかりとなる刺激の呈示は、観察反応を維持し得るであろうか。本研究では、DRLL スケジュールによる強化子の呈示と、それと独立したレバーを設置し、そのレバー押し反応に手がかり刺激呈示の機能をもたせて、実験を行った。このレバー押し反応は、DRLL の設定値をはさんで光刺激の点灯/消灯を切り替えるようになっている。被験体は、光刺激が点灯してから強化スケジュールレバーに対して反応をすると強化され、報酬のエサを得ることになる。つまり、光刺激の点灯が時間弁別の手がかりとなるので、被験体は光刺激を求める行動を自発すると考える。また、DRLL の設定値の延長は、呈示される手がかり刺激の価値を上昇させるので、観察反応数の増加をもたらすであろう。さらに、Wyckoff (1952) の実験では、弁別学習と、観察反応の習得の学習とが同時進行を示していた。弁別刺激を呈示するのであるから、観察反応は弁別学習を促進し、また、弁別の成立による強化子の呈示が増えればそれは観察反応の強化にもつながる。よって、本実験では、DRLL の設定値の延長は観察反応の増加をもたらす、時間弁別の成立と観察反応の増加が同時進行する、という相互作用を持って現れるであろうと考える。

方 法

1. 被験体

雄のウィスター系ラット5匹

食餌制限による体重統制を行い、自由摂食時の約80%前後に体重を維持した。

水はホームケージ内で自由摂取とした。

2. 装置

2レバー付きのスキナーボックス（縦270mm・横350mm・高さ350mm Fig.1）をシールド恒温槽内に置いて使用した。側壁及び天井は透明アクリル板、前部と後部の壁面は黒色アクリル板であった。

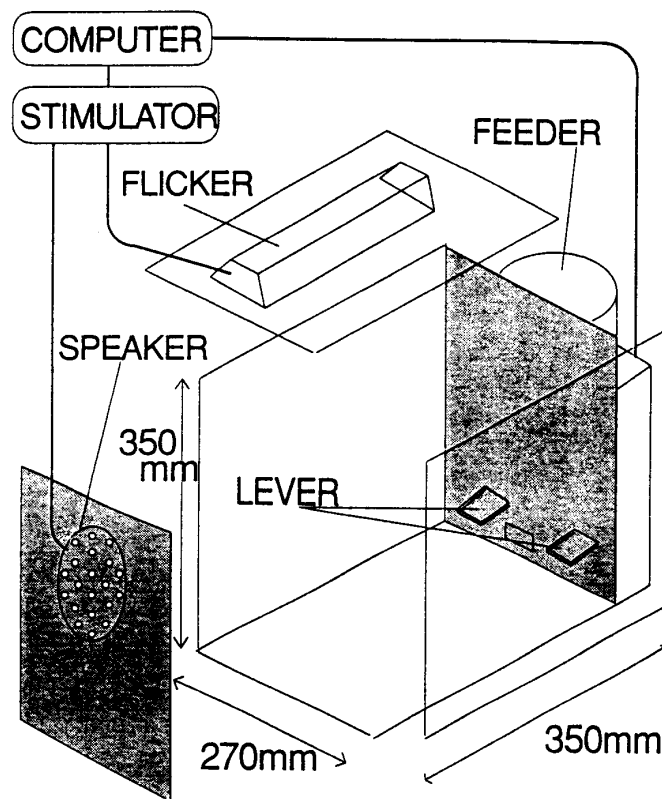


Fig. 1 Apparatus.

前部の壁面の中央、床から10mmの位置に餌口があり、その左右70mm、床から45mmにレバーがあった。左側のレバーは格納することができた。右側のレバーは固定してあった。天井にランプがあり、セッション中常時点灯していた。後部の壁面にはスピーカーがとりつけてあり、これを通して音刺激を呈示した。光刺激は、スキナーボックスの上部から呈示した。刺激と強化子の呈示は恒温槽の外に置かれたパーソナルコンピュータ（NEC PC-9801F, VM, EX）によって制御された。実験中の被験体の行動は、恒温槽内にTVカメラを設置し、外部のTVモニターによって観察した。

光刺激と音刺激は Photo・Phono Stimulator（NEC三栄 3G11）を用いて呈示した。音刺激としては、1000Hz・80dBの純音を、光刺激としては8Hzのフリッカー光を用いた。

行動指標の測定、記録は、刺激呈示用のものと共通で、パーソナルコンピュータ（NEC PC-9801F, VM, EX）を用いた。右レバー押しについては、累積記録器によって記録した。

3. 手続き

予備訓練として Box Habituation を 1 セッション (30 分間)、Shaping 100 強化を 3 セッション、CRF200 を 4 セッション行った。これらはいずれも左右二つのレバーを用いた。

次に A から E の 5 つのスケジュールを順に行った。

A・受動的な情報の獲得訓練 (Fig. 2)

ここでは光刺激の手がかりとしての機能の獲得が目的であった。

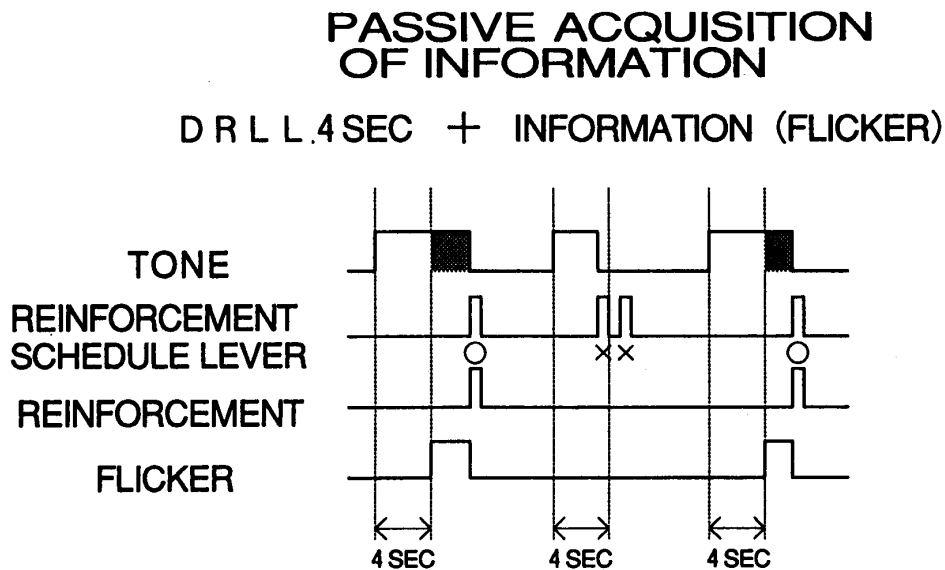


Fig. 2 Illustration of experimental procedure for passive acquisition of information. The dark square in the parts of TONE mean chance to get reinforcement. The symbols under the REINFORCEMENT SCHEDULE LEVER line indicate reinforcement (O) or non-reinforcement (X).

このスケジュールは右レバーのみで行い、左レバーは格納してあった。音刺激を試行開始とする DRLL 4 秒スケジュールで試行間間隔 (Inter Trial Interval: ITI) 10 秒、制限時間 (limit hold: LH) 4 秒とした。このスケジュールは 1 セッションは 216 試行からなり、1 日 1 セッション行った。音刺激はレバーへの反応があるか、強化可能となってから LH 4 秒が経過するまで呈示した。試行開始から 4 秒以上 8 秒未満 (Fig. 2 の斜線部分) のレバーへの反応のみ強化した。試行開始から 4 秒経過すると、フリッカー光が点灯した (Fig. 2 の FLICKER の実線で示した)。光刺激が点灯してから強化スケジュールレバーへ反応すると強化された。試行開始から 4 秒未満の反応や、試行開始から 8 秒以上たっても反応がない場合 (time out) は強化子を与えずにその試行を終了した。ITI 期間中の反応があった場合はその時点から ITI が再計測された。

B・能動的な情報の獲得訓練 (Fig. 3)

観察反应用レバー押しで強化の手がかりとなる光刺激が得られる手続きであった。このスケジュールから 2 つのレバーを導入した。一方を観察反应用レバー、もう一方を強化スケジュールレバーとした。音刺激を試行開始とする DRLL 4 秒スケジュールで、ITI 10 秒、LH 8 秒とした。1 セッションは 216 試行からなり、1 日 1 セッション行った。音刺激は強化スケジュールレバーへの反応があるか、強化可能となってから LH 8 秒が経過するまで呈示した。試行開始から 4 秒以上 12 秒未満の強化スケジュールレバーへの反応のみ強化した。被験体はセッション中いつでも自由に観察反

応用レバーを押すことが出来た。試行中に観察反応を行う（観察応用レバーを押す）とフリッカー光が点灯し、手がかり刺激を得ることが出来た。観察反応を行うと、試行開始から4秒経過してフリッカー光が点灯する条件となった。試行開始から4秒未満での観察応用レバーへの反応は、1瞬だけフリッカー光が点灯しすぐ消灯した。受動的な情報の獲得訓練と異なり、観察反応をしない限り光刺激は呈示されなかった (Fig. 3 で、FLICKER の点線で示した)。ITI 中の観察応用レバーへの反応は無効であり、何も変化をもたらさない。

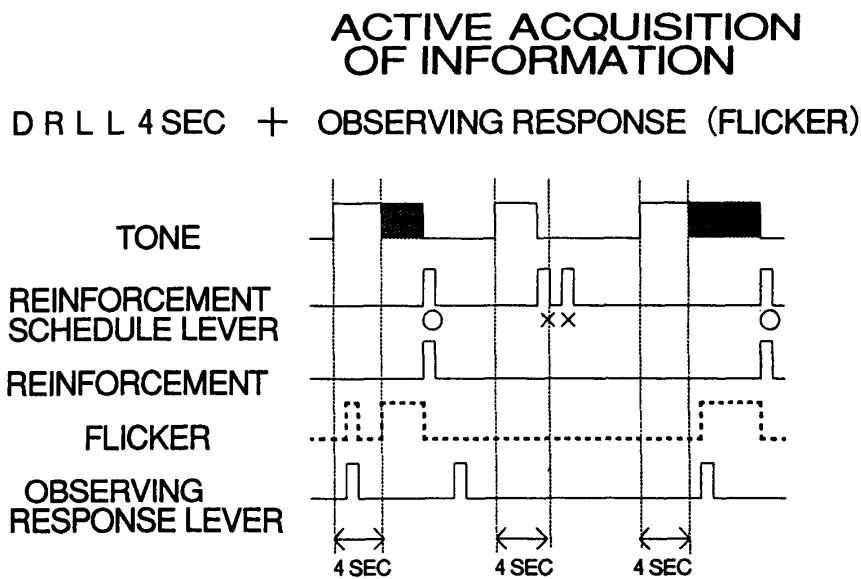


Fig.3 Illustration of experimental procedure for active acquisition of information. The dark square in the parts of TONE mesn chance to get reinforcement. The symbols under the REINFORCEMENT SCHEDULE LEVER line indicate reinforcement (O) or non-reinforcement (X). In this schedule, the FLICKER line is written by bloken line, because the appearance of flicker stimuli depend on subject's observing response.

試行開始から4秒未満の反応や、試行開始から12秒以上たっても反応がない場合 (time out) は強化子を与えずに、その試行を終了した。ITI 期間中の強化スケジュールレバーへの反応があった場合はその時点から ITI が再計測された。

C・受動的+能動的な情報の獲得訓練 DRLL 4秒

全216試行中の最初の36試行を受動的な情報の獲得訓練と同じスケジュールにし、残りの180試行を能動的な情報の獲得訓練と同じスケジュールで構成した。これは、受動的な情報の獲得訓練からの時間経過が長く、光刺激の手がかりとしての機能が消去されたと考えられたためである。このスケジュールでは、1セッションにつき36試行は光刺激が手がかりとなるように挿入されるため、光刺激が再び手がかりとしての機能を獲得する。

D・受動的+能動的な情報の獲得訓練 DRLL 8秒

DRLL の設定値と LH をそれぞれ8秒、LH 8秒、に変えたスケジュールを行った。

E・受動的+能動的な情報の獲得訓練 DRLL 16秒

DRLL の設定値と LH をそれぞれ16秒、LH 16秒、に変えたスケジュールを行った。D, E のスケジュールは、設定値を上げることにより、スケジュールの難易度を高めて、観察反応によって得られる手がかり刺激の価値を上げることを目的とした。

各ラットの行った実験スケジュールの順番と、セッション数を Table. 1 に示す。

Table 1 Order of the experimental procedure and number of sessions

SCHEDULE		RAT10	RAT11	RAT12	RAT13	RAT14
BOX HABITUATION		1	1	1	1	1
SHAPING		3	3	3	3	3
CRF200		4	4	4	4	4
PASSIVE ACQUISITION OF INFORMATION	D R L L 4	29	50	41	37	46
ACTIVE ACQUISITION OF INFORMATION	D R L L 4	20	20	20	20	20
PASSIVE+ACTIVE	D R L L 4	20	20	20	20	20
PASSIVE+ACTIVE	D R L L 8	20	20	20	20	20
PASSIVE+ACTIVE	D R L L 16	20	11	20	20	13
TOTAL		97	118	109	105	114

4. 指標

行動指標として、各試行の強化スケジュールレバー押しの反応潜時と、セッションを通しての ITI 中と試行中の観察反应用レバー押しの回数を記録した。

行動指標として得られた強化スケジュールレバー押しの反応潜時と反応数から次のものを求め分析の対象とした。

正反応率：1セッション216試行中、何試行で DRLL 値よりも大きく、かつ制限時間内の反応潜時をとったかを百分率で示したもの。つまり、1セッション中に何回強化されたかを示す強化率である。

手がかり指標：もし、ラットがフリッカー光を手がかりとしていたならば、フリッカー光の点灯直後、つまり DRLL 値の直後に反応が集中すると考えられる。そのため、DRLL 値の直前の反応数と直後の反応数には大きな違いがあると思われる。DRLL 値直前の反応数を、直後の反応数で割って DRLL 値前後の比を求め、手がかり指標とし、フリッカー光が手がかり刺激としての効力を持っているかどうかの指標とした。値が小さいほど、フリッカー光が手がかり刺激としての強い効果をもつことを示す。

観察反応数：各セッションの ITI 中のレバー押し反応と、試行中のレバー押し反応を記録した。

成功した観察反応の割合：観察反応を行いかつ強化された試行数を観察反応のあった全試行数で割って求めた。

結 果

正反応率

受動的な情報の獲得訓練での学習の達成基準として、正反応率80%以上を連続して3日、もしくは連続してはいないが5回達成することとした。全ての被験体が50セッション以内にこの基準を達成した (Table 1)。

受動的な情報の獲得訓練から能動的な情報の獲得訓練への移行にもなって正反応率はどのラットも低下した ($t(4) = 5.01$ $p < .05$)。これは、Fig. 4において、強化されなかったことを示すヒストグラムの白抜きの部分の面積の違いとして現れている。受動的な情報の獲得訓練では DRLL の設定値である4秒以後にピークがあり、4秒以前の反応は少なく押さえられている。それに対して、

能動的な情報の獲得訓練では、ピークは4秒以前に見られ、誤反応が多いことを示している。受動的+能動的な情報の獲得訓練のDRLL 8秒、および16秒では、最初の5セッションまでは低い正反応率を示すが徐々に回復し、Fig. 4の下段左端、中央に示す程度にまで回復した。

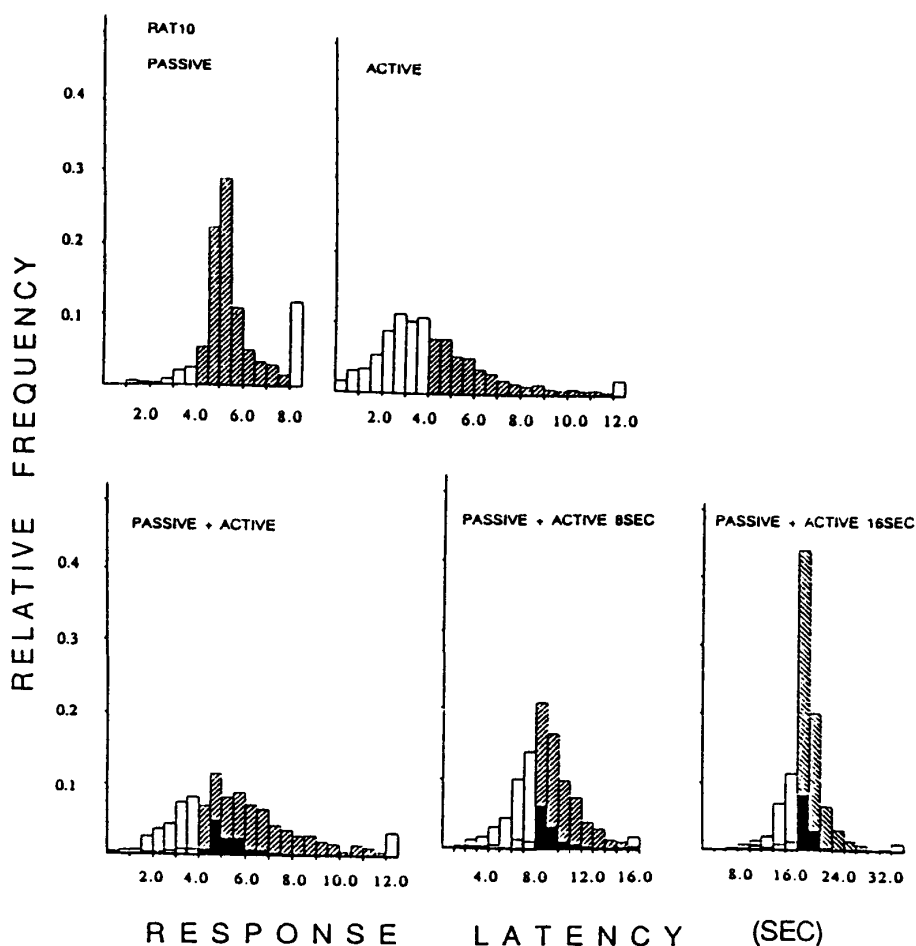


Fig. 4 Mean relative frequency of response latency in last 5 sessions of each schedule. These schedules are passive, active, passive+active, passive+active DRLL 8 sec and passive+active DRLL 16 sec. The data are RAT 10. Hatched and filled bar show reinforcement. Dotted and unfilled bar show unreinforcement. Dotted and filled bar shows passive trials in passive+active schedule.

手がかり指標 (Fig.5)

手がかり指標は光刺激の点灯/消灯が変化する点に注目するためにとった指標である。反応潜時の分布 (Fig. 4) と合わせてみることによって、設定値付近でのラットの行動の変化を確認できる。1.0よりも充分に小さければ設定値より早い潜時での反応は抑えられ、設定値後に多くの反応があることをしめす。1.0前後であれば、設定値付近にピークをもつ分布と考えられる。

受動的な情報の獲得訓練では、DRLL の設定値を境に光刺激が点灯する。全ての被験体で、0.3以下の値をとっており、DRLL 値以前の反応が抑えられていることを示している。

能動的な情報の獲得訓練への移行後は、1.0より大きな値をとった。反応潜時の分布のヒストグラム (Fig. 4 上段右) ではピークが早いほうへ移動し、ほぼ、DRLL 値付近に現れたためである。

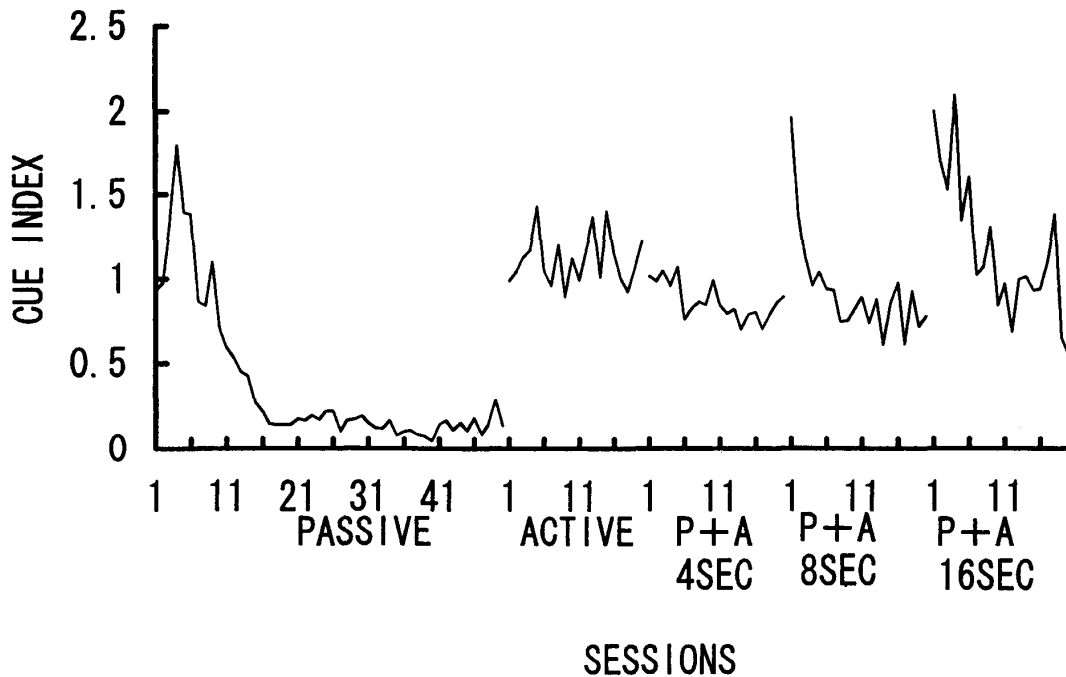


Fig. 5 Cue index. The data are average of five rats. It is calculated from numbers of response before DRLL value divided by numbers of response after DRLL value. When DRLL value is 4 SEC, we use the data of response numbers from 1 SEC before DRLL value to DRLL value and DRLL value to 1 SEC after DRLL value. When DRLL value is 8SEC, we use the data of response numbers from 2 SEC before DRLL value to DRLL value and DRLL value to 2 SEC after DRLL value. When DRLL value is 16 SEC, we use the data of response numbers from 4 SEC before DRLL value to DRLL value and DRLL value to 4 SEC after DRLL value.

これは光刺激が呈示されなくなり、手がかり刺激が呈示されなくなったことによると考えられる。受動的+能動的な情報の獲得訓練では、1.0より小さな値となった。受動的+能動的な情報の獲得訓練のDRLL 8秒、および16秒では移行直後は1.5以上の値であったのがセッションの進行に伴って0.7程度の1.0より小さな値に変化した。

Table 2 Mean numbers of observing response in each experimental procedure

	Active DRLL4sec	Passive + active DRLL4sec	Passive + active DRLL8sec	Passive + active DRLL16sec
Mean numbers of observing response	7.36	9.71	10.79	49.96

観察反応数 (Fig.6)

受動的+能動的な情報の獲得訓練のDRLL 16秒で観察反応が多く見られた。RAT 10では、観察反応がみられた試行が1セッション中149試行にのぼることもあり、同時に正反応率も87.96%と最高となった。また、全被験体の平均 (Table 2) でも実験を通じて他のスケジュールよりも観察反応数は多かった ($F(3,9) = 8.42p < .05$)。難易度の上昇が、観察反応数の増加に対して効果があるといえる。受動的+能動的の情報の獲得訓練のDRLL 8秒、および16秒では、観察反応を行い、かつ強化された試行の割合が増加する傾向 ($F(3,3) = 10.94 p < .05$)が見られた (Fig. 7)。

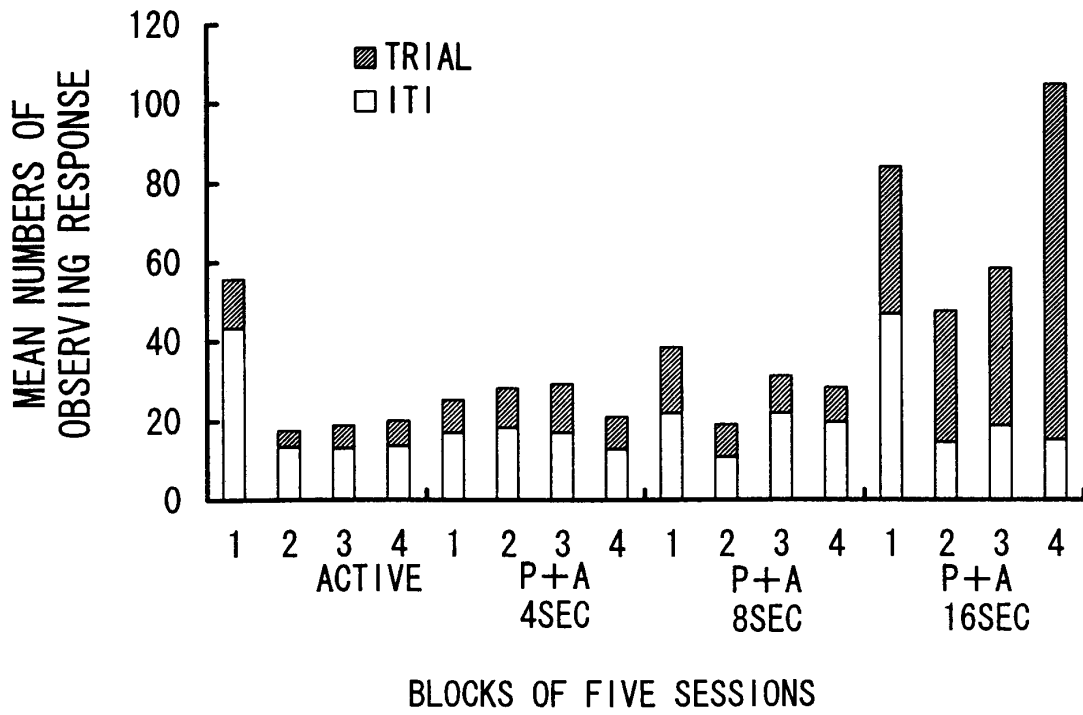


Fig. 6 Mean numbers of observing responses of blocks for five sessions.

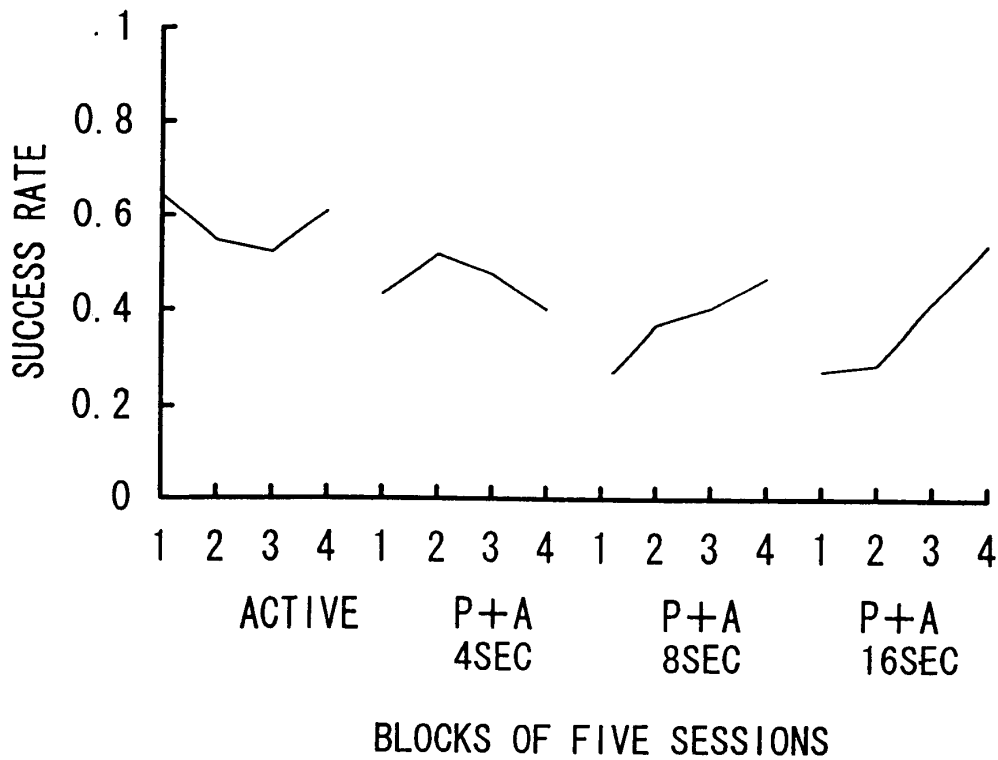


Fig. 7 Rate of success observing response. The data are average of five rats.

考 察

受動的な情報の獲得訓練での目標は、ラットが時間弁別学習を行うことと、時間弁別において光刺激が手がかりとしての機能を持つことを学習することであった。受動的な情報の獲得訓練での RAT 10 の最終 5 セッションの反応潜時の分布をヒストグラムに表したのが Fig. 4 の上段左である。DRLL の設定値以後である 5 秒の所に非常に高いピークがあるのが分かる。更に、4 秒以前の反応が非常に少なく、ヒストグラムは右側に歪んだ形となっていることも分かる。このスケジュールでは試行の開始から 4 秒目で、光刺激の点灯がある。反応潜時の分布からみて、ラットは明らかに光刺激を手がかりとして利用していたといえる。そこで用いたのが手がかり指標である。この値をみると、全ての被験体で 0.3 以下の小さな値をとっている。

能動的な情報獲得訓練では、反応潜時の分布のヒストグラムにおいてピークが 4 秒以前にあり、誤反応が受動的な情報の獲得と比較して多いことがわかる (Fig. 4)。そして、Fig. 6 で示すように観察反応は少なかった。能動的な情報の獲得訓練では光刺激は観察反応をしない限り呈示されないため、受動的な情報の獲得訓練では光刺激によって反応が制御されていたことを示すと考えられる。これらのことから、受動的な情報の獲得訓練において光刺激は手がかりとしての機能を獲得していたといえることができる。

能動的な情報の獲得訓練のスケジュールでは、先の受動的な情報の獲得訓練においては自動的に呈示されていた光刺激が呈示されず、ラットが自ら観察反应用レバーを押すことによって初めて光刺激が呈示されるようになっていた。この光刺激は受動的な情報の獲得訓練において、手がかりとしての機能を獲得していたとすればラットにとっては有益な情報のはずである。観察反応を行わなくとも強化子を得ることは可能であるが、この情報を用いるとより簡単に強化子を得ることができる。そのためこの自ら情報を求める行動（観察反应用レバーを押す行動）が毎試行ごとにみられると予想をしていた。観察反応は各試行に 1 回の割合で生起し、強化スケジュールレバーに対する反応の反応潜時の分布のヒストグラムは、受動的な情報の獲得訓練と同様 (Fig. 4 上段左) になると予想していた。しかし、観察反応はあまりみられず (Fig. 6)、Fig. 4 の上段右のヒストグラムの示すように正反応率は下がった。これは、観察反应用レバー押しをするというコストを費やしてまで必要な情報ではなかったためであると考えられる。

設定値を延長し、光刺激の手がかりとしての価値を高めた DRLL 16 秒においては観察反応が多くみられた。そして、RAT 10 の DRLL 16 秒の 20 セッション目には、観察反応数、正反応率、共に最高となった。これは、観察反応の習得と、弁別学習の進行が同時に示され相互作用を持って現れることを示唆する。

DRLL 8 秒、16 秒で観察反応が増加してきた理由は、DRLL の設定値の延長による課題の難易度の上昇と、それによる手がかり刺激の価値の上昇に原因がある。設定値を長くすると、それだけ長い時間反応しないことが要求される。短い反応潜時での反応は、長い反応潜時での反応よりもその機会が多い。それは長い反応潜時での反応というのはそれよりも常に時間的に先行する短い反応潜時で反応しようとする傾向を抑えて初めて現れるからである (Higa, Wynne & Staddon 1991)。ラットは内部に起きる短い潜時での反応傾向を抑えなければ強化子を得ることができない。そのためには外部からの手がかりが有効となるだろう。このスケジュールでラットは観察反応によって時間手がかり刺激を得ることができるのである。よって難易度の高い長潜時での反応を要求する課題で観察反応が増加しているのであろう。

このように設定時間の長短は、観察反応数に影響を与えていることは明らかである。また、設定時間の長短はそのまま正反応率にも現れる。DRLL の設定時間が観察反応数と正反応率、この二つと関わりがあることから、弁別学習の進行と、観察反応の取得が同時に示されるという相互作用を持って現れることを間接的に示していると考えられる。

本実験では、DRLL 16秒において観察反応の増加が確認された。時間弁別においては、弁別する時間が長く、課題としての難易度の高い場合に観察反応を維持した。これは、長潜時での反応を要求する課題では、短い潜時で反応しようとする傾向を抑える外部からの刺激の入力の必要性によって刺激の持つ情報量が修飾されるからであろう。

文 献

- Case, D. A., Ploog, B. O. & Fantino, E. 1990 Observing behavior in a computer game. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 54, 185-199.
- Catania, A. C. 1970 Reinforcement schedules and psychological judgments : A study of some temporal properties of behavior. In W. N. Schoenfeld (ed.) *The Theory of Reinforcement Schedules*. New York : Appleton-Century-Crofts.
- Higa, J. J., Wynne, C. D. L. & Staddon, J. E. R. 1991 Dynamics of time discrimination. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Process*, 17, 281-291.
- Ito, M. 1981 Control of monkey's spaced responding by sample durations. *Japanese psychological research*, 23, 213-218.
- Lieberman, D. A. 1972 Secondary reinforcement and information as determinates of observing behavior in monkeys (*Macaca Mulatta*). *Learning and Motivation*, 3, 341-358.
- 坂田省吾・実森正子・杉本助男 1981 ラットにおける時間弁別行動。広島大学総合科学部紀要Ⅲ。情報行動科学研究第5、31-39。
- Treisman, M. 1963 Temporal discrimination and the indifferent interval : implications for a model of the "internal clock". *Psychological Monographs*, 77, (13, Whole No.576).
- Wyckoff, L. B. Jr. 1952 The role of observing response in discrimination learning. Part 1. *Psychological Review*, 59, 431-442.