サカナの部分強化学習と消去抵抗¹

大阪教育大学 石 田 雅 人²
広島大学 平 岡 恭 一

PARTIAL REINFORCEMENT AND RESISTANCE TO EXTINCTION IN FISH

MASATO ISHIDA

Department of Psychology, Osaka University of Education

KYOICHI HIRAOKA

Department of Psychology, Hiroshima University

3 groups of fish were trained and extinguished in an alley-type apparatus to assess the effects of partial reinforcement (57% random, 57% single alternation, and 100% continuous). They received 49 training and 49 extinction trials under massed conditions. The results indicated that fish (unlike rats) fail to show a partial reinforcement effect upon resistance to extinction, and they cannot learn to respond appropriately when rewarded and nonrewarded trials are regularly alternated. These results suggested species differences between fish and rats in terms of the rate of conditioning, and the responsivity to changes of aftereffects.

学習現象を比較心理学的に研究する場合弁別学習課題が多く用いられている。藤田 (1969) は系統発生的な比較検討の際に有用な弁別課題として3つ掲げている。第1は連続逆転学習, 第2は確率学習, 第3には広い意味での弁別という観点から部分強化学習である。本研究ではその中で第3に掲げた部分強化学習を取り上げた。

部分強化学習は主としてネズミを用い, 学習理論に対する興味から多数の研究がなされてきた。そして種々の条件下で部分強化群の消去抵抗が連続強化群よりも大きいという部分強化効果 (Partial Reinforcement Effect, 以下 PRE と略す) が見いだされている。

一方サカナの部分強化学習に関する限りではネズミの場合とは異なっている。サカナ (おもにキンギョ, マウスブリーダー) においては標的押し (target pressing) 課題を中心として研究されてきたがほとんど PRE³は見られておらず (たとえば Wodinsky & Bitterman, 1959, 1960; Gonzalez, Eskin, & Bitterman, 1961; Gonzalez

& Bitterman, 1967, Exp. I; Gonzalez, Holmes, & Bitterman, 1967), 逆にどちらかといえば連続強化群の消去抵抗が大きい傾向がみられている。しかし1つの例外として Gonzalez & Bitterman (1967, Exp. II) は報酬量を多くし, しかも1強化当りに要する被験体の反応の負担を軽くした (Low Effort) 条件のもとで PRE を見いだしている。

上記の例は標的押しを課題として用いた研究であるが, 通常ネズミで用いられているような直線走路を使った実験は非常に少ない。Boitano & Foskett (1968) はキンギョに走路学習を行なわせた。40試行の訓練の後に消去試行を与えたが PRE は見られず, 逆に連続強化群の消去抵抗が大きかった。しかしながら彼らの実験では試行間隔が24時間であることが指摘される。その上部分強化群と連続強化群の訓練の最終レベルが異なることも問題であろう。Boitano & Foskett (1968) の結果はこれらの点が考察されていないけれども, いずれにしろ, 種間で同様の装置が使用可能な場合にはできる限り用いるということは理論的に比較するためにも意義があり, このように直線走路を装置とする研究が必要である。

以上のごとくサカナにおいてはネズミの場合とは異なり PRE が見られないか, 或は見られるにしてもかなり限られた条件のもとでしか生じていない。Mackintosh (1971) はこのような種間の PRE 出現の差異を Capaldi (1967) の刺激残効説に沿って理論的に考察し, サカナではネズミに比べて強化事象の刺激残効によって行動が

¹ 本実験は広島大学で行なわれたものである。なお本論文の内容についての責任は第1筆者が負う。

² 本実験を実施するにあたり, 暖かい援助を与えて下さった広島大学羽生義正先生に心から感謝致します。またサカナの飼育法などをお教えいただいた慶応大学実森正子氏, 千葉大学大山正先生, 並びに弘前大学丹藤進先生に厚く謝意を表します。

³ 本研究において PRE を論ずる場合は, 原則として通常行なわれているような訓練試行数が同一である条件に限定している。

コントロールされる働きが弱いからであろうと述べている。残効の働きが弱い根拠として Mackintosh (1971) は次のような標的押し課題による実験結果をあげている。単一交替強化 (R と N が規則的に交替する, 以下 R は強化試行, N は無強化試行を表わす) ではネズミは典型的に交替学習 (patterning) を示すが (たとえば Capaldi, 1958), サカナではこの現象が見られなかった。しかし R と N の残効の弁別性を特に高める手続をとった場合にはサカナでも交替学習が見いだされたという結果である。このような交替学習を研究した例は他にもあるが (Gonzalez et al., 1961), 課題は標的押しであるので直線走路を用いた研究の必要もあろう。

本研究では直線走路を装置として用いながらサカナにおける部分強化学習をみてゆく。そしてこの結果を特にネズミでみられる結果と比較し考察してゆくことを目的とする。実験に際し Boitano & Foskett (1968) の研究において指摘した点を考慮する。つまり彼らの実験では 24 時間の試行間隔が用いられていたが, 本実験ではきわめて短い試行間隔を用いる。このことにより限られた訓練試行数において強化事象の残効のオペラント反応に対する条件づけが日内で増し, サカナの記憶の衰退を最少限にするものと思われる。つまり Mackintosh (1971) に従えば残効による行動のコントロールの働きを増大させて消去においてなんらかの差が見られることが予測される。

更に本実験では部分強化群に関して, 通常比較されるところのランダム強化群の他に単一交替強化群を設ける。Mackintosh (1971) の標的押し課題の場合は交替学習が見られなかったけれども, これが直線走路を用いた場合はどうなるかを見てゆく。

方 法

被験体 実験歴のない 12 匹のフナ (*Carassius carassius*) を用いた。体長は約 7cm であり広島市内の取扱い店より買い求めた。

装置 長さ 39cm, 幅 24cm, 深さ 29cm の市販の水槽中にアクリルガラスを用いて直線走路をつくった。走路部分の長さは 20cm, 幅 3cm, 深さ 20cm である。往復式走路にするために出発箱と目標箱の大きさは同一であって, 長さ 8cm, 幅 20cm, 深さ 20cm である。走路部分と出発箱, 目標箱とはギロチン戸で仕切られている。装置全体は上方 30cm から 60W の白色電球により照らされている。被験体は実験時以外は集団水槽で飼われる。水温はサーモヒーターにより 20°C 前後に保たれており, 同時にポンプで空気が送り込まれている。実験時は集団水槽と同温度の水を実験装置の中に深さ 5cm にいれる。水は水道水を用いたが塩素成分を薬品により中和してある。

手続 最初の 14 日間は馴致ならびに予備訓練の期間である。この間ははじめは 1 日当りの餌を大目に与え次第

に減らしてゆく。6 日目までは集団水槽で自由に泳がせるが, 7 日目からは集団水槽を仕切り個別に飼う。10 日目から 5 日間は予備訓練であり, 1 匹ずつ装置に移し 5 分間の自由探索を与える。12 日目からは更に本訓練で用いられる固型の報酬ペレット (直径約 1.2 mm) を与える。予備訓練の後 1 群 4 匹ずつの 3 群に分け本訓練にはいる。本訓練は 1 日 7 試行で 7 日間, 計 49 試行行なう。更に 8 日目からは消去試行にはいり, やはり 1 日 7 試行で 7 日間, 計 49 試行行なう。各群は連続強化群 (C 群), ランダム強化群 (R 群), そして単一交替強化群 (A 群) である。後者の 2 群は部分強化の群であり, 強化率は 57% である。各訓練日の第 1 試行は R (強化試行) である。それ故 A 群は各訓練日において RNRNRNR (N は無強化試行) という系列を受けることになる。被験体は 1 匹ずつ各日の始めに一度も水から離れないようにしながら水槽から装置に移され, 出発箱に数分放置される。その後出発箱のギロチン戸を引き上げ, 同時に電気時計を作動させる。サカナが目標箱に到達したらギロチン戸をおろし時計を止める。R 試行では予め報酬用のペレット 1 個を置いているが, その報酬を食べ終わってから 30 秒間放置する。往復式走路であるから次の試行では現在の目標箱が出発箱となる。N 試行 (消去試行も含む) の場合は目標箱に 1 分間放置する。結局試行間隔は約 1 分間であり, サカナを試行間隔のたびに装置から取り出すことはしない。各実験日に走路のどちら側が出発箱となるかはランダムである。所定の試行終了後, 再び水槽に戻され, 30 分以上経てから R 試行で得た報酬ペレット数を差し引いた数の固型の餌つぶが与えられる。被験体に与えられる 1 日当りの食物量は直径 1.2mm のペレット 15 であった。実験は 1974 年 9 月から 3 か月間行なわれたものである。

結 果

結果はサカナが出発箱から出て目標箱にはいるまでの走路時間で分析した。実際にデータが得られた被験体数は C 群 3 匹, R 群 3 匹, A 群 3 匹の計 9 匹であった。R 群はそのうち 1 匹が訓練まで有効だったが, 消去にはいって病気にかかったので PRE に関する分析では除外した。上記以外の被験体は訓練において学習の進歩がなかったり, 或は訓練の末期において病気にかかったので分析から除外した。

PRE について ①訓練: データが得られた被験体数が少ないため, A, R および C 群をこみにし, 8 匹全体について訓練試行の効果を検定した。7 試行ずつからなる 7 ブロックに分け, 試行ブロックと個体の 2 要因についての分散分析を行なったところ, 試行ブロックの効果は有意であり ($F=5.76$, $df=6/42$, $p<.01$), 個体要因も有意であった ($F=8.20$, $df=7/42$, $p<.01$)。このことは試行を重ねるにつれて学習効果があったことを意味している。

次に個体数が少ないが群間差を検定した。A と R の両

群を合わせてP群として分析した。訓練第1日目の走路時間の平均値はC群が59.50秒、P群が133.18秒である。両群の分散がかなり異なるので、コクラン・コックス法により検定したが有意差はなかった($t_0'=2.08$, P群のものを t_1 としてその $df=4$, C群を t_2 としてその $df=2$, t の表より $t_1, t_2 > t_0'$ であるから有意差なし)。しかしながら訓練最終日には両群の分散の差が有意ではなかったので t 検定したところ、P群とC群の差は有意であった($t=2.85$, $df=6$, $p<.05$)。平均値はC群が14.43秒、P群は31.43秒であり、C群のパフォーマンスがすぐれている。

②消去：消去試行についても訓練試行と同様の検定を行なった。すなわち7試行ずつからなる7ブロックにわけ、試行ブロックと個体の2要因についての分散分析を行なったところ、試行ブロックの効果は有意であり($F=2.42$, $df=6/42$, $p<.05$)、個体要因も有意であった($F=14.51$, $df=7/42$, $p<.01$)。次に消去における全試行にわたる平均を被験体毎に求めC群とP群を比較した結果、両群間に有意差はなかった($t=0.02$, $df=6$)。両群の平均はC群が60.40秒、P群は61.00秒であった。Fig.1にはC群とP群の訓練及び消去における走路時間が示されている。図にみられるように消去抵抗では全く差がないが、訓練の段階で差があることがわかる。なおP群の中のA群とR群の比較においては訓練ならびに消去において有意な差はなかった。消去全試行にわたる両群の平均は走路時間でA群54.91秒、R群は70.28秒であった。

交替学習などについて

ここでは訓練におけるA群及びR群のR試行とN試行の走路時間を比較した。まずA群については、訓練全体でR及びNの平均がそれぞれ101.86秒と107.24秒であ

FIG. 1. Mean alley time during training and extinction.

ったFig.2(A)は7試行を1ブロックとして示してあり、R試行の走路時間がN試行よりも優れている傾向はみられず、交替学習は生じていない。

そのほかR群についてはWodinsky & Bitterman (1959)がフラストレーション効果を報告しているの、本実験でもその効果をみた。R試行の直後の試行における走路時間とN試行の直後の試行の走路時間を比較したところ、訓練全体でそれぞれ66.31秒と62.04秒であり差はない。Fig.2(B)は7試行を1ブロックとして示してあるが、N試行のあとの走路時間の方が訓練が進むにつれて短くなってゆくというようなフラストレーション効果は見られていない。

考 察

本実験の結果はPREが見られなかったという事ではBoitano & Foskett (1968)の結果と同様であった。しかし彼らの結果が連続強化群の消去抵抗が部分強化群に比べて有意に大きいという逆PRE現象を見だしているのに対して、今回の結果の異なる点は訓練時で両群間に、有意な差があるにもかかわらず消去抵抗では全く差がなかったという事である。

本実験の手続は訓練試行数という条件においてはBoitano & Foskettの用いた40試行とほとんど変わりがなかった。しかし試行間隔においては彼らが24時間であるのに本実験では30秒という集中試行を用いた。彼らの結果に比べ部分強化群の消去抵抗が上昇したのはこの要因が関係していると思われる。Gonzalez & Bitterman (1967)は標的押し課題でPREを見だしているのであるが、彼らの場合の条件の特徴は集中試行を用いたことがあげられ、上記の推測の裏付けともなるであろう。

その上本実験に比べGonzalez & Bittermanは480試行という非常に多くの訓練試行数を用いていることから本実験とはかなり条件を異にしており、PRE有無の結果の差は装置の差にだけ帰することができないよう

FIG. 2. Mean alley time in alternation group (A) and random group (B) during training.

に思われる。すなわちサカナの PRE 生起にとり試行の集中と、訓練試行を充分に与えるということが重要であると考えられるだろう。最近 Zych & Wolach (1973) は走路において集中試行を用いキンギョの PRE を研究した。訓練試行数を 56, 98, 196 と変化させた結果、56 試行で PRE が見られなかったが、98, 196 試行の条件では PRE を見いだしている。この研究結果からも PRE 生起の要因として訓練試行数が重要な役割を果たしていることがわかる。だからもし本実験において訓練試行数を増やしたならば訓練の最終水準が上昇し、それにとまって部分強化群の消去抵抗が連続強化群を上まわることが予測される。

交替学習に関する分析では、N 試行に比べて R 試行で速いという傾向がなく、強化事象に応じた差別的な反応はしていなかった。これは Mackintosh (1971) が標的押し課題で見いだした結果と同じであり、ここでも要求されるオペラント反応の違いによって結果が左右されることはなかった。

Mackintosh (1971) はサカナにおいて交替学習がみられないのは残効による行動コントロールが弱いからであると述べていた。サカナがネズミに比べ相対的に残効の働きが弱く交替学習ができないにもかかわらず、ある研究で (Gonzalez & Bitterman, 1967 の実験を指す) PRE がみられたりすることに関して、Mackintosh は残効の行動コントロールの働きの違いを残効の弁別力の差異だとして次のように説明している。交替学習は直前及び次の試行の残効の正確な弁別に基づくものである。サカナはネズミに比べ残効の弁別力が弱いため交替学習はできない。ところが PRE は強化系列の残効の正確な弁別を必要としないのでサカナでも PRE は見られるのである。

このように Mackintosh はネズミとサカナの間に起こる結果の違いの原因を残効の弁別能力の差に求めている。この仮説は交替学習と PRE の関連をよく説明している。しかしながら本研究の結果及び Zych & Wolach (1973)、或は Gonzalez & Bitterman (1967) の結果から推測される如く、サカナでは PRE が試行数や試行間隔そして報酬量などの条件に強く影響されることを考えなければならない。ネズミを用いた研究ではどんな試行間隔 (Wilson, Weiss, & Amsel, 1955; 石田, 1974b) 及びどんなに少ない試行数 (McCain & Brown, 1967; 石田, 1974c) でも PRE が見られることから、ネズミとサカナの間に残効の条件づけの強さにおける違いを仮定する必要があると思われる。つまりサカナは強化事象の残効の条件づけ強度が弱く漸近値に達するのが遅い。それ故に試行を集中にし、報酬量を大にし、試行数を多くすることによりオペラント反応に対する条件づけ強度を漸近強度に到達させれば、消去過程で連続強化群との

比較において汎化減少に差が生じ PRE がみられることが考えられる。

けれども序文で述べたような交替学習の結果や、或は交替学習と PRE の関連を考えると必ずしも残効の条件づけの強さの違いだけで従来の結果の全てを説明するのは不十分であり、Mackintosh (1971) のいう残効の弁別能力の差も仮定しなければならないだろう。したがって今回の考察においては上記の2つの要因を同時に仮定せざるを得ない。この2つの要因の関連については本実験の結果からは明らかではなく、更に進んだ実験的な検討が待たれる。

いままで述べてきた理論的枠組は Capaldi (1967) の残効理論に基礎を置いている。この理論は PRE を中心として、過剰訓練消去効果(OEE)といわれる逆説的現象(石田, 1973)などにも適用されている。特に PRE に関しては、ネズミの学習でその消去抵抗の予測性(Seybert, Mellgren, & Jobe, 1973; 石田, 1974a) や、Amsel 理論では説明できない現象を説明できること(石田, 1974b) などが実験的に証明されていて、PRE にもなる多くの現象に対して適用されている。しかも Poon & Halpern (1971) 及び中丸・羽生・善岡・中塚・石田 (1972) はヒトにおける PRE を研究し、Capaldi 理論の予測が適切であることを実験に示している。

種差によっては多少理論の一部を変更せざるを得ないかも知れないが、サカナ、ネズミ、ヒトの部分強化学習に至るまで同一の理論的枠組で論じ得ることは、比較心理学的な考察のうえで大いに有用であると思われる。今後は更にネズミとサカナの間に位置するといわれるトリやカメ、そして哺乳動物ではヒトに近いサルなどを用いた PRE の比較研究もなされる必要があると思われる。

引 用 文 献

- Boitano, J. J., & Foskett, M. D. 1968 Effects of partial reinforcement on speed of approach response in goldfish (*Carassius auratus*). *Psychological Reports*, 22, 741—744.
- Capaldi, E. J. 1958 The effect of different amount of training on the resistance to extinction of different patterns of partially reinforced responses. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 51, 367—371.
- Capaldi, E. J. 1967 A sequential hypothesis of instrumental learning. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation*. New York: Academic Press.
- 藤田 統 1969 学習における比較心理学的諸研究 本吉良治(編) 講座心理学 第6巻 東京大学出版会 Pp. 213—237.
- Gonzalez, R. C., & Bitterman, M. E. 1967 Partial reinforcement effects in the goldfish as a func-

- tion of amount of reward. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, **64**, 163—167.
- Gonzalez, R. C., Eskin, R. M., & Bitterman, M. E. 1961 Alternating and random partial reinforcement in the fish, with some observations on asymptotic resistance to extinction. *American Journal of Psychology*, **74**, 561—568.
- Gonzalez, R. C., Holmes, N. K., & Bitterman, M. E. 1967 Resistance to extinction as a function of frequency and amount of reward. *American Journal of Psychology*, **80**, 269—275.
- 石田雅人 1973 過剰訓練消去効果と試行間隔の関係の吟味 心理学研究, **44**, 51—54.
- 石田雅人 1974 a 少数訓練試行 PRE に及ぼす N-R 移行数ならびに強化率の効果 心理学研究, **45**, 90—94.
- 石田雅人 1974 b 少数訓練試行事態における部分強化効果——試行間隔および報酬ベレット数からの検討——心理学研究, **45**, 140—147.
- 石田雅人 1974 c 少数訓練試行 PRE に関する部分遅延強化の消去抵抗 (シロネズミ) 動物心理学年報, **24**, 63—71.
- McCain, G., & Brown, E. R. 1967 Partial reinforcement with a small number of trials: Two acquisition trials. *Psychonomic Science*, **7**, 265—266.
- Mackintosh, N. J. 1971 Reward and aftereffects of reward in the learning of goldfish. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, **76**, 225—232.
- 中丸澄子・羽生義正・善岡 宏・中塚勝俊・石田雅人 1972 人間における少数試行 PRE に関する一実験 中国四国心理学会論文集, **5**, 74—75.
- Poon, L., & Halpern, J. 1971 A small-trials PREE with adult humans: Resistance to extinction as a function of number of N-R transitions. *Journal of Experimental Psychology*, **91**, 124—128.
- Seybert, J. A., Mellgren, R. L., & Jobe, J. B. 1973 Sequential effects on resistance to extinction at widely spaced trials. *Journal of Experimental Psychology*, **101**, 151—154.
- Wilson, W., Weiss, E. J., & Amsel, A. 1955 Two tests of the Sheffield hypothesis concerning resistance to extinction, partial reinforcement, and distribution of practice. *Journal of Experimental Psychology*, **50**, 51—60.
- Wodinsky, J., & Bitterman, M. E. 1959 Partial reinforcement in the fish. *American Journal of Psychology*, **70**, 569—576.
- Wodinsky, J., & Bitterman, M. E. 1960 Resistance to extinction in the fish after extensive training with partial reinforcement. *American Journal of Psychology*, **73**, 429—434.
- Zych, K. A., & Wolach, A. H. 1973 Resistance to extinction in the goldfish. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, **82**, 115—122.