

自動的反応形成における連合要因

木藤, 恒夫

<https://doi.org/10.15017/2328511>

出版情報 : 哲學年報. 49, pp.1-22, 1990-03-30. 九州大学文学部
バージョン :
権利関係 :

自動的反応形成における連合要因

木 藤 恒 夫

目 次

1. は じ め に
2. 随 伴 要 因
 - a. 対提示
 - b. 情報性
 - c. 刺激-強化子随伴性
 - d. 随伴性空間
3. 時 間 要 因
 - a. Schwartz & Gamzu のアナロジー
 - b. 試行刺激および ITI の持続時間の影響
 - c. スカラー期待仮説
4. ま と め

1. は じ め に

Brown & Jenkins (1968) は、ハトを被験体として極めて単純な手続きでキイツつき反応が形成される事実を報告した。彼らは、実験経験のないハトに動因操作とマガジン訓練を施し、準暗室状態のスキナー箱へ入れた。彼らが採った基本的な実験手続きは、ハトの行動とは無関係に、反応キィへの白色光の照射と食物トレイを繰り返して対提示することであった。ハトは、平均60秒に1度ずつ、8秒間の反応キィへの照明と、その直後に、4秒間の食物トレイの提示を受けた。その結果、被験体にした36羽のハトすべてが、6回から119回(平均45回)の対提示を受けた後、キイツつき反応を出現させたのである。この行

動的事実が、ハト自らがキイツつきオペラントを形成することから名づけられた自動的反応形成 (autoshaping) である。

この自動的反応形成の現象が提出した最も興味深く、かつ深刻な問題は、学習2過程説へ向けられたものである。それまで、ハトのキイツつき反応はオペラント行動の1つの代表例と考えられていた。実際、実験的行動分析 (the experimental analysis of behavior) の立場に立つオペラント行動の研究者たちは、このハトのキイツつき反応に基づき、多くの行動制御に関する理解を積み重ねてきた。だが自動的反応形成の事実、この実験的行動分析に対し、まさに根元から揺さぶるほどの衝撃を与えるものであった (Schwartz and Gamzu [1977]; Terrace [1981]; 佐藤 [1975])。なぜならば、自動的反応形成の手続きパラダイムは、パプロフ型条件づけに極めて類似していたからである。キィへの照明 (CS) が餌の提示 (US) に先行し、しかもこれらの刺激系列は、生活体の行動によっては全く影響されないものであった。もしハトのキイツつき反応が紛れもなくパプロフ型の刺激-強化子の随伴性のみに依存するものであるならば、オペラント行動に対する従来成果を検討し直さなければならない事態にもなりかねないのである。

当然ながら、Brown & Jenkins の報告がなされて以来、当初の研究の関心は、自動的反応形成がパプロフ型条件づけの刺激-強化子関係 (または随伴性) に依存するのか、あるいはオペラント条件づけの反応-強化子関係に依存するのかという点に向けられた。この問題にいちやくエレガントな実験で応えたのが Williams & Williams (1969) の研究である。彼らが用いた省略訓練手続き (omission training) は、試行刺激の提示期間中につき反応が生じなければ自動的反応形成の手続きと同じく餌の対提示を受けるが、もしつき反応が生じると、餌の提示を省略するという、負の反応-強化子関係が成り立つものであった。その結果、この手続きを課されたハトでもキイツつき反応が獲得・維持され (負の自動的反応維持; negative automaintenance), 自動的反応形成がパプロフ型条件づけにより支配されるとする考え方の有力な根拠とされた。

その後、自動的反応形成における反応-強化子随伴性の役割を擁護する報告

もいくつか見られたが、いずれもその根拠に乏しく、少なくとも自動的反応形成の獲得過程に関しては、パプロフ型条件づけの1過程であるとする見方がほぼ一致した見解となっている（自動的反応形成のオペラント条件づけ的解釈に関しては、Suzuki [1986] を参照のこと）。ただし、この現象の制御をめぐる論争を1つの契機として、とりわけ反応の維持過程に関して、パプロフ型条件づけとオペラント条件づけの相互作用という新しいパラダイムが提出されたことは1つの大きな成果であろう。

本稿では、自動的反応形成の獲得はパプロフ型条件づけの1過程であるとの観点に立ち、その成立における連合要因を検討する。前半部分では、研究の焦点が対提示から随伴性への問題へと移行する契機となった実験を紹介するとともに、パプロフ型条件づけの刺激-反応随伴性に関する最近の分析手法の1つである、随伴性空間（例えば、Gibbon, Berryman, & Thompson [1974]）の考え方を検討する。また、後半部分では、刺激間の時間的關係に焦点を合わせ、最近のスカラー期待仮説に至る研究の流れを概観する。

2. 随 伴 要 因

自動的反応形成の手続き上の最大の特徴は、試行刺激と強化刺激の遅延条件づけタイプの対提示 (pairing) であった。これは、一般に、パプロフ型条件づけの成立要因の典型である条件刺激 (CS) と無条件刺激 (US) の時間的接近に相当する。自動的反応形成の事実が紛れもなくパプロフ型条件づけ手続きの産物であるかを検討するために、まず最初の段階として、自動的反応形成手続きでキイツつき行動が出現するための必要条件と十分条件が考察された。

a. 対 提 示

自動的反応形成がパプロフ型条件づけの産物であるか否かを確かめるには、実際に、パプロフ型条件づけのいくつかのタイプの手続きでキイツつき反応が出現するか否かを調べる必要がある。これについては、Brown & Jenkins のオリジナルな研究で試みられており、その実験の手続きと結果は表1に示すとおりであった。

SUMMARY OF RESULTS

seconds	PROCEDURE	NUMBER OF Ss	NO. & % OF Ss EMITTING A PECK WITHIN 160 TRIALS	MEAN TRIAL OF 1st PECK RANGE
0 2 4 6 8	KEY LIGHT	36	36-100%	45 6-119
	TRAY (FORWARD PAIRING)	12	2-17%	54 50-57
	(REVERSE PAIRING)	6	0-0%	— —
	(TRIALS ONLY)	12	4-33%	NOT APPLICABLE
	(TRAY ONLY-CONSTANT LIGHT)	22	21-95%	47 10-112
	(FORWARD PAIRING-3SEC TRIAL)	6	2-33%	141 140-142
	(FORWARD PAIRING-DARK KEY)	6	6-100%	33 14-66
	(FORWARD PAIRING-RED KEY)	12	11-92%	55 26-133
	(FORWARD PAIRING-FIXED TRIAL)			

表 1 Brown & Jenkins の実験手続きと主な結果 (Brown & Jenkins [1968] より)。

彼らは、各手続きで 160 試行 (1 セッション 80 試行で、2 セッションまで) 行い、最初のキイツつき反応が生じた試行のみを報告した。1 段目のものは、本稿の冒頭で紹介したものであり、自動的反應形成の基本的な手続きである。2 段目のものは、キイ照明と食物トレイの提示順序を逆転した条件 (逆行条件づけ) のものであり、12羽中 2羽のみがキイツつき反應を生じさせた。3 段目の、餌を伴わずにキイが照明された条件 (CS のみ) では、6羽のハトはいずれもキイツつき反應を生じさせなかった。キイは常時照明され、食物が周期的に提示された条件 (US のみ) では、12羽中の 4羽がキイツつき反應を生じさせた

(4 段目)。5 段目のものは、第 1 段目の手続きとはほぼ同一であるが、キイ照明時間を 8 秒から 3 秒へ短縮させたものである。この条件では、22羽中の 21羽がキイツつき反応を生じさせ、第 1 段目のものとはほぼ同様の結果を得た。6 段目と 7 段目の条件では、キイへの照明光とマガジンライトとの刺激類似性が問題にされた。6 段目のものは、今までの条件とは異なり、キイライトの消灯が食物と対にされた。この条件では、6 羽中の 2 羽のみにキイツつき反応が生じた。7 段目のものは、キイライトの消灯ではなく、白色光を赤色光に変えて餌と対にされ、6 羽のハトすべてにキイツつき反応が生じ、キイライトとマガジンライトとの類似性が問題ではないことが確認された。最後の 8 段目のものは、キイ点灯時間が一定にされ、キイツつき反応がキイ照明時間と食物トレイの提示とに影響を及ぼさない条件 (fixed trial: FT 手続きとよばれる) のものである。少なくとも、最初のキイツつき反応の出現に関しては、1 段目の手続きと同様であり、12羽中の 11羽で反応が形成された。

以上のように、Brown & Jenkins の実験では、パプロフ型条件づけのいくつかのタイプの手続きとともに、2, 3 の付加的な刺激提示条件の下で自動的反応形成の成立が試された。その結果を総合的に見ると、ハトのキイツつき反応は、確かにパプロフ型条件づけの手続きで生じることを示すように見受けられた。Brown & Jenkins は、これらの実験結果に基づき、CS (キイ点灯) - US (餌提示) の対提示こそが自動的反応形成を獲得するための必要・十分条件であると主張した。

しかし、この主張は、Gamzu & Williams (1973) によって批判されることになった。この批判は、そもそも Brown & Jenkins が用いた対照条件の不備に由来するものであった。Brown & Jenkins は、上述のように、逆行条件づけ、CS のみの提示、US のみの提示という 3 つの対照条件を試みている。しかし、Gamzu & Williams は、それらの対照条件のみでは、自動的反応形成の現象がパプロフ型条件づけの産物であることを検証するには不十分であると主張した。自動的反応形成が本当にパプロフ型の条件づけ手続きで生じることを示すには、「真のランダム対照条件 (truly-random control; Rescorla [1967])」を行う必要

があるとした。そして、この条件を用いた実験の結果、Brown & Jenkins の主張を受け入れ難い事実を報告した。

b. 情報性

Gamzu & Williams (1973) は、図1のBからEに示す4つの手続きによる実験を報告して、Brown & Jenkins の主張を批判するとともに、CS が US 提示に関していかなる情報をもっているか（情報性：informativeness）の重要性を示した。

手続きAは、Brown & Jenkins (1968) が用いた自動的反応形成の基本的手続きであるが、手続きB以下は、それとは明らかに異なる手続きである。図中の1/sec. PG SAMPLE とは、one-per second probability generator sample の略である。これは、強化を提示するのにランダム確率発生器を使用したことを意味する。図中の+印のところに出力が生じ、強化が施行された。

手続きBでは、試行中（8.6秒間のキイ照明時）の1秒に1回、ランダム確率発生器に信号が入り、所定の確率（ $p=.3$ ）で出力が生じた。つまり、出力信号は平均33秒（ほぼ4試行）に1回だされ、4秒間トレイを提示した。この手続きは、試行時のみに強化が提示されることから分化（differential）手続きとよばれた。これは、標準的な自動的反応形成の手続きとは、次の2つの点が異なっていた。第1に、各試行ごとには強化が提示されないことである。第2に、強化は試行の終わり（キイライト消灯時）ではなく、試行期間（キイ点灯）中、不規則に（ランダムに）提示されたことである。

手続きCは、非分化（non-differential）手続きとよばれたものである。ここでは、試行とITI（intertrial interval）の期間を問わず、強化がランダムに提示される。この手続きは、Rescorla (1967) が示した真のランダム対照条件である。手続きDは、不在時分化（differential-absence）手続きとよばれたものであり、手続きBとは逆に、ITI 時にのみ強化が提示された。また、最後の手続きEは、無強化（non-reinforcement）手続きで、強化はいっさい提示されなかった。

その結果は明瞭なものであった（図2）。手続きBでテストされた11羽のハ

トは、すべてキイツつき反応を獲得した。しかも、1日50試行で、35日目には1分当たり平均50回から130回と、その反応率はかなり高率であった。それに対して、やはり1日50試行で、14日間、手続きCでテストされたハトは、9羽の合計で30反応しか見られなかった。また別な対照条件である、手続きDと手続きEでテストされたハトは、合計で6羽が14日間試されたが、1羽のみ（無強化群）がITI時に16反応を示しただけであった。これらの結果から、Gamzu & Williams は、自動的反応形成によるキイツつき反応の獲得が単なるCS-USの対提示に依存するのではなく、むしろ、CSがUS提示に関する情報をどれだけでも持っているのかに依存すると結論した。この実験結果にひきつづき、その後の研究の流れは、対提示という時間的に特殊な刺激配置ではなく、ひろく試行刺激と強化刺激の随伴性 (contingency) の問題へと発展していった。

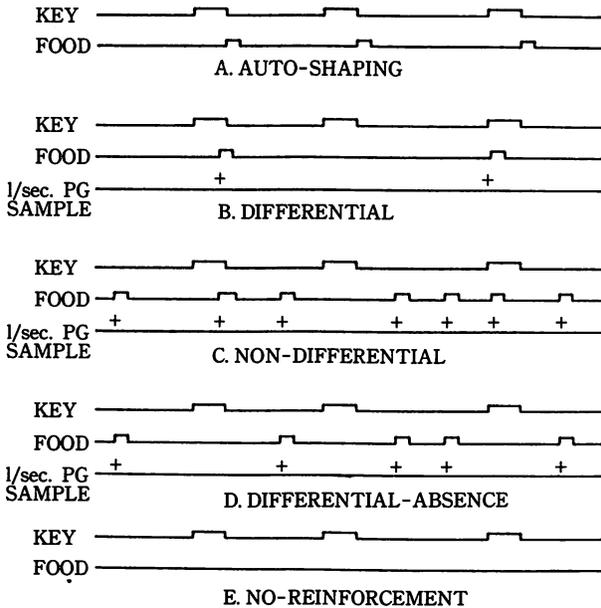


図 1 Gamzu & Williams が用いた手続き (Gamzu & Williams [1973] より)。

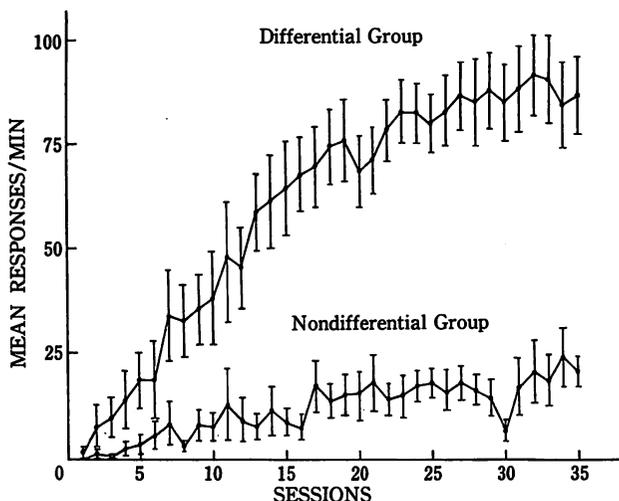


図 2 分化 (differential) 群と非分化 (non-differential) 群の比較。図には、キィ点灯中の1分間あたりの平均反応数と標準偏差が示されている (Gamzu & Williams [1973] より)。

c. 刺激—強化子随伴性

次の2つの要件が満たされる場合、事象Aと事象Bとの間に統計的関連または随伴性があるといわれる (Gibbon [1981])。

- ① AはBの出現を「予告する」または「伴う」。
- ② Aの不在はBの不在を「予告する」または「伴う」。

これをパプロフ型条件づけパラダイムの文脈でいえば、信号 (CS) と強化子 (US) が一緒に生じるということのみならず、USの不在がCSの不在時に生じるということの意味する。すなわち、興奮条件づけではCS提示が強化子存在の確実な予告者 (predictor) になっており、制止条件づけではCS提示が強化子不在の予告者になっているのである。Rescorla (1967) は、この2つの条件づけには対称性があることを示し、興奮随伴性または制止随伴性に関する適切な統制条件は、この2つの刺激事象間に何ら統計的な関連がないものであ

るとした。これが、彼が提唱した「真のランダム対照条件」である。

自動的反応形成の基本的な手続きでは、この刺激-強化子随伴性は対提示という形で示される。したがって、この随伴性の強さが自動的反応形成の成立に及ぼす影響を調べるには、随伴性の強さを変化させる必要がある。伝統的に、随伴性を低下させるには、2つの方法がとられてきた。1つは、CS に対する US の提示回数を減少させ、部分強化にする方法である。Gonzalez (1973, 1974) は、この方法を自動的反応形成の実験に適用し、反応率における低下を見いだしている。また、もう1つの方法は、CS によって出現が予告されない US の提示回数を増加させることである。ただし、この方法を採用した Jenkins, Barnes, & Barrera (1981) の研究によれば、CS の増加が反応獲得に及ぼす顕著な効果は見いだされていない。

木藤・松尾 (1984) は、Gonzalez (1973) の方法にならい、試行刺激および強化刺激の出現頻度は変えずに、対提示する回数を組織的に変化させ、随伴率の変化に伴う影響を検討した。その実験 (1セッションは35試行) では、随伴

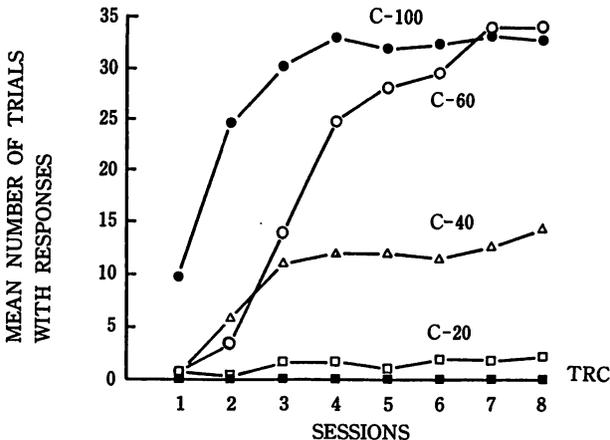


図 3 対提示率と自動的反応形成維持の関係 (木藤・松尾 [1984] より)。

率が0%, 20%, 40%, 60%および100%の条件が課せられた。0%条件は「真のランダム対照条件」に相当するものであり、100%条件は試行刺激に必ず強化刺激が随伴する標準的な手続きである。図3は、各群の平均値に基づいて反応維持の推移を示したものである。この図からは、試行刺激と強化刺激の随伴率の低下に伴って、反応形成の獲得が遅れ、しかも反応維持のレベルが低くなることがわかる。とくに、60%以上の試行で強化刺激と対提示しない(20%群と40%群)と、その傾向が顕著であった。

d・随伴性空間

この随伴性の問題に関しては、広く条件づけ全般を取り扱ったものとして、Gibbon, Berryman, & Tompson (1974) が確率的な分析手法を提出している。Gibbonらは、Rescorla (1968,1969)の結果に基づき、パプロフ型条件づけパラダイムにおけるCSとUSとの随伴性を2次元(または3次元)空間で表現した。このような図式的表現が、随伴性空間(contingency space)とよばれるものである。

図4の2次元表現のものを説明すると、横軸はCSがない時(~CS)のUS

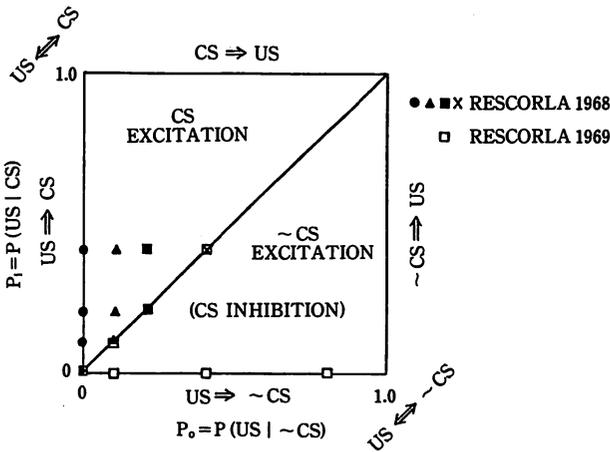


図 4 随伴性空間。図中には Rescorla の結果が示されている (Gibbon et al. [1974] より)。

出現確率 $P_0 = P(US | \sim CS)$ であり、縦軸は CS 提示時の US 出現確率 $P_1 = P(US | CS)$ である。

原点を通る対角線の線上の部分は、 $P_1 = P_0$ であり、非随伴 (non-contingent) 手続きといわれる。Rescorla (1967) が示した「真のランダム対照条件」は、この非随伴手続きに属し、CS と CU はまったく独立のスケジュールで提示される。対角線の左上の部分は、 $P_1 > P_0$ であり、正の随伴 (positive contingent) 手続きといわれる。正の随伴手続きの場合は、興奮条件づけを生じさせ、一般的には CS の提示によって CR (条件反応) の出現が増大する。左上の角は、CS 提示時には必ず US が提示され、 $\sim CS$ にはけっして US が提示されない、伝統的な対提示手続きを示す ($P_1 = 1$)。左辺は、CS の提示中にのみ、1 以下の確率で US が提示される部分強化手続きを示す ($0 < P_1 < 1$)。

一方、対角線の左下の部分は、 $P_0 > P_1$ であり、負の随伴 (negative contingent) 手続きといわれる。負の随伴手続きの場合は、現象的には制止条件づけを生じさせ、CR の獲得を遅らせる。また、すでに CR が獲得された後にこの手続きが課せられると、CR の出現が減少するようになる。

では、この随伴性の研究はどのようにして自動的反応形成の手続きに適用されているのであろうか。Gamzu & Williams (1971) は、ラットの条件性情動反応 (conditioned emotional response: CER) に関して Rescorla が用いた方法と極めて類似した方法で、自動的反応形成手続きに適用している (先に紹介した Gamzu & Williams [1973] は、この研究を発展させたものである)。彼らは、キィ点灯時に反応とは無関係に餌が分配され、キィ点灯時には分配されない群 (随伴群) と、キィが点灯しているか否かに関わらず同じ比率で餌を分配する群 (非随伴群) とを検討した。

図 5 (軸の表現はことになっているが、図 4 と同様に解釈されたし) は、Gamzu & Williams (1971, 1973) の実験における随伴性を随伴性空間で示したものである (Gibbon [1981])。ここでは、CS (キィ点灯) と $\sim CS$ (キィ消灯) 期間を 10 秒の「試行単位」と仮定して計算してある。強化確率は、随伴群で CS の存在時に 0.25、CS の不在時で 0 であった (左辺上)。また、非随伴群

では、CS の存在時および不在時ともに0.25であった（対角線上）。Gamzu & Williams の結果は、随伴群では急速にキイツつき反応が獲得されたが、非随伴群では反応が獲得されなかったことを見いだしている。

✕ Gamzu 8, Williams
(1971, 1973)

○ Gibbon, Locurto, 8, Terrace
(1975)

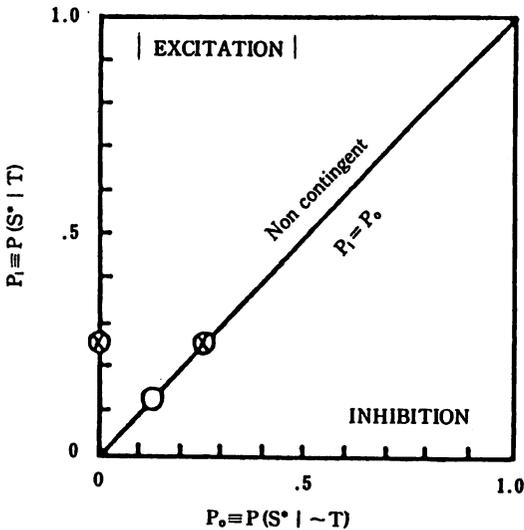


図 5 自動的反應形成における随伴性空間の例 (Gibbon [1981] より)。

Gibbon, Locurto, & Terrace (1975) が行った研究は、図 5 の中に丸印で示されている。そこでは、手続き上の多少のちがいはあるが、Gamzu & Williams で調べられた 2 群ともう 1 つの群が検討されている。対角線上にある 2 つの非随伴群は、Rescorla の高密度群と低密度群にならったものである。その結果、この 2 つの非随伴群では、Rescorla や Gamzu & Williams と同様、キィ

つつき反応が形成されなかった。このように、随伴性空間の対角線上に配置される強化条件（非随伴手続き）では、自動的反応形成が生じないことがわかる。

では、この2次元表現による随伴性空間で、自動的反応形成の成立条件が同定できるであろうか。たしかに、連合反応を除去する条件は随伴性分析によって同定できる（非随伴手続き）が、残念ながら、条件づけを生じさせる条件を同定するのは困難なようである。それは、随伴手続きでの結果が必ずしも等質ではないという事実に直面するからである。例えば、試行があまり密に配置されていない場合であれば、確実に条件づけは生じるが、試行が過密に配置される（ITI 期間が短い）と、条件づけは必ずしも生じないのである。したがって、自動的反応形成の研究においては、新しいパラメータを加えることにより（実際、Gibbon et al. [1974] では、試行信号の頻度に関するパラメータを導入し、3次元空間での表現も試みている）、条件づけを生じさせる条件の同定を可能にさせるのが今後の課題とされている。また、この分析によって、随伴条件における量的な分析が可能であるかという問題もほとんど手つかずのまま残されている。

3. 時 間 要 因

試行刺激が強化刺激提示に関する情報をどれだけもつかに関しては、前章で述べた両刺激間の随伴性ととも、それらの刺激ならびに刺激相互間の時間的關係が重要になる。

a. Schwartz & Gamzu のアナロジー

Schwartz & Gamzu (1977) は、次のような1つのアナロジーをあげ、試行刺激や ITI の持続時間がもつ情報性を理解するための手掛かりを示している。

異なる数字で区別される5種の列車がつぎつぎに通過する駅で、ある目的地へ行くための列車を待っているとす。5種の列車のうち1つだけが目的地へ向かうものである。もし1分間隔で列車が到着するならば、本書に目を通しながら、ときおり目をあげればよいであろう。しかし、列車が10分間に1本しか

こないならば、列車の到着（試行刺激）に対してもっと注意を払うであろう。ここで、途中駅とターミナル駅での時間待ちの違いを考えてみよう。ターミナル駅では、列車が入線して1分間はそこに待機している。そのため、1度列車が入ってしまえば、行先を示す数字を読み返して確認したり、検討することができる。しかし、途中駅の場合は、列車が20秒しか停車しないので、入ってくる列車が目的地へ向かうものかどうかの確認に一定の注意を払っていなければならない。列車が停車するまでの待ち時間（試行の持続時間）が短いほど、要求されるヴィジランスは増大する。このアナロジーの自動的反應形成に対する関連はつぎのようである。つまり、ITI (intertrial interval) が一定に保たれれば、試行刺激が短いほど多くの情報を運ぶことになる。しかも、それによって、多くのつき反応の出現が予想される。同様に、試行持続時間が一定であれば、より長い ITI が試行期間中でのより多いつき反応を生じさせるであろう (Schwartz & Gamzu [1977] より引用)。

以下では、自動的反應手続きの主要な変項 (variant) である試行刺激と ITI の持続時間が反応の形成に及ぼす影響を検討する。そして、この問題の分析に関する最近の仮説を検討しよう。

b. 試行刺激および ITI の持続時間の影響

試行刺激の持続時間に関するもっとも初期の報告は、やはり自動的反應形成に関する Brown & Jenkins (1968) のオリジナル研究である。彼らは、持続時間が8秒のものとは3秒のものを比較したが、反応の獲得速度での明確な違いは見いだせなかった (2.a 節を参照)。

Ricci (1973) は、ITI の長さを平均4分間とし、試行の持続時間が30秒と120秒のものを比較した。その結果、持続時間が30秒の方が120秒のものより反応をすばやく形成したと報告した。だが、彼らが用いた ITI および試行の長さは通常の自動的反應手続きよりかなり長いため、その結果の一部には、何かほかの要因 (例えば、冗長性) の影響が介入した可能性も考える必要がある。

Schwartz & Gamzu (1977) によれば、この問題に関して組織的に調べたの

は Baldock の研究²¹⁾である。その研究によると、ITI が一定の場合には、自動的反応形成の獲得速度は試行の持続時間に正比例する。つまり、試行持続時間が短い（4 秒）のときもっとも急速に獲得され、持続時間が増加するにつれて遅くなる。

一方、Terrace, Gibbon, Farrel, & Baldock (1975) は、試行持続時間の方を一定（10 秒）にして、平均 ITI の持続時間を 5 秒から 400 秒にまで変化させた。その結果から、反応の獲得速度は ITI の両対数単調増加関数であると主張した（図 6 参照）。

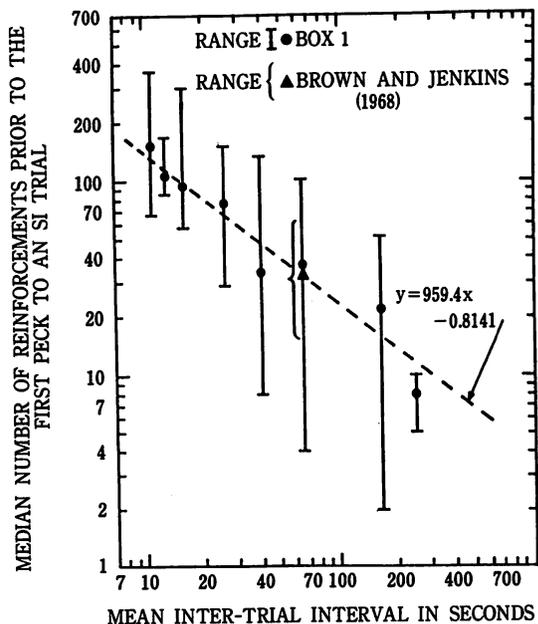


図 6 ITI の長さが自動的反応形成の獲得速度に及ぼす影響。試行持続時間は一定の10秒 (Terrace et al. [1975] より)。

試行や ITI の持続時間が自動的反応形成に及ぼす影響に関するこれらの研究の結果は、先に引用した Schwartz & Gamzu (1977) のアナロジーからの予

測と一致するものである。つまり、試行の持続時間が短いほど、または、ITIの持続時間が長いほど反応の形成が容易である (Gibbon et al. [1975] も同様の結果を得ている)。そこで、次に当然考えられるのは、試行の持続時間とITIの長さの相互作用である。Baldock は、この2つの変項の相互作用に関して、キイツつき反応の獲得速度を決定するための重要な次元がITIに対する試行時間の比率であることを示している (Schwartz & Gamzu [1977])。つまり、広い範囲の試行時間 (4~32秒) とITI (8~78秒) で調べた結果、獲得速度はITIに対する試行時間の比率が小さいときほど急速であった。

c. スカラー期待仮説

試行とITI持続時間の相互作用に関して、Gibbon, Baldock, Locurto, Gold, & Terrace (1977) もまた、2つの変項を広い範囲に変動させて検討している。この研究の結果は、ITI持続時間の増大が強い促進効果をもつことを追認したが、さらに、この促進が一定の試行刺激に依存することを示した。もし試行とITIの両方が同じ比率で増加するならば (例えば、8秒の試行と48秒のITI; 16秒の試行と96秒のITI)、大まかには学習速度は変わらなかったのである。そしてGibbonらは、この事実を、ITIの長さを2倍にすることによって生じる条件づけ速度の促進は、2倍にした試行持続時間によって生みだされる遅れによって正確に相殺されると考えた。

この点を明確にするため、Gibbon (1977) は、実験者が研究するために使用した試行の構造との関連によってのみ形成される、連合的な結合の強さを扱う仮説を提唱した。この仮説が、スカラー期待仮説 (scalar expectancy theory: SET) とよばれるものである。この仮説での中心的な考え方は、連合学習では、強化と次の強化との間に提示される正の試行の時間 (T) と2つの強化間のサイクル時間 (C) との間で比較がなされるということである。

SETの主張は、反応の獲得速度がこれら2つの時間の比の1次関数で示されるということである。図7は、この比の概念の正当性を裏づける証拠となる。横軸は試行時間に対する強化間 (サイクル) 間隔の比 (C/T) であり、縦軸は、獲得が生じるまでに要した強化試行数である。図には、自動的反応形成

におけるさまざまな実験の結果がプロットされている。

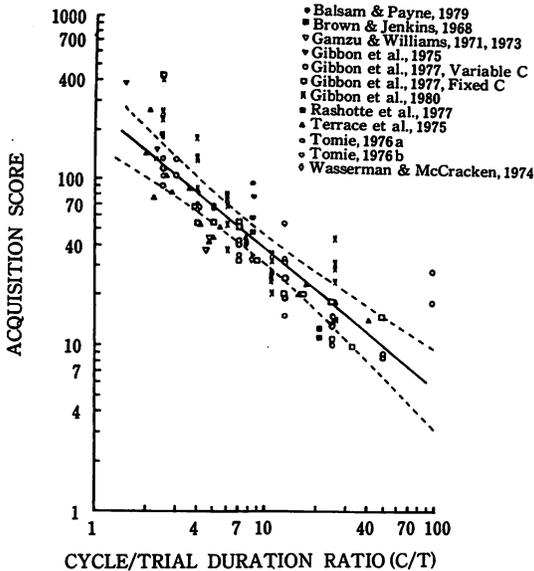


図 7 C/T と自動的反応形成の獲得速度の関係。実線は最小2乗法で求めた回帰直線であり、破線は95%の信頼限界である (Gibbon & Balsam [1981] より)。

また、この仮説の特徴は「比率コンパレータ (ratio comparator)」によって比較され、被験体の動物によって推定される時間の価値である。比率コンパレータとは、強化に対する遅延と連合した相対的な興奮性強度を示すメカニズムとみなされている。自動的反応形成への適用においては、試行信号 (例えばキイ点灯) ならびに背景 (例えばキイ消灯) の双方において、強化が生じることによって被験体が「期待 (expectancy)」を発展させるものとみなされる。つまり、この認知的な色合が濃い期待分析の背後にある中心的なアイデアは、信号の持続時間の長さとは逆比例する信号の価値を、被験体が評価するということである。

信号提示中の期待 (ht) は、 $ht=H/T$ で示される。ここで、Hは強化出現の

価値を反映する動機づけパラメータであり、 T は信号と餌の対提示間に信号が存在している平均時間である。この餌に対する主観的な比率は、所定の信号に対する餌提示の確率、つまり、随伴性空間（図4）の縦軸に匹敵するものである。また、信号不在中の餌提示への期待（ hc ）は、サイクル全体または背景と比較され、 $hc=H/C$ で示される（背景率）。ここでの C は、実験全体にわたる強化間の平均時間である。背景率が高いときには、信号存在時の餌への期待は、反応を生じさせるための背景期待と同程度のレベルになってしまう。

SETの場合、背景と試行の比較は、これら2つの期待レベルの比（ $r=ht/hc=C/T$ ）をとることによってなされる。この r の値が十分に大きいときは、その手続きで条件反応が生じる。Gibbon & Balsam (1981)は、期待比が約1.5~2.0よりも小さいときは、たとえ随伴性があったとしても、条件反応が生じないというデータを示している。

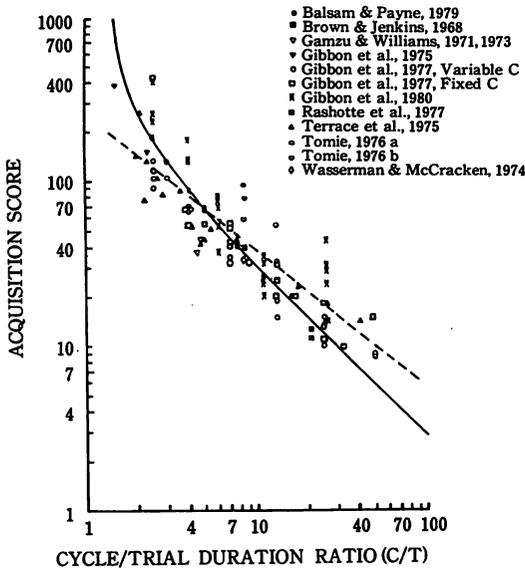


図 8 一般式(1)のデータへのあてはめ(実線)。破線は、最小2乗法で求めた回帰直線(Gibbon & Balsam [1981]より)。

Gibbon & Balsam (1981) によれば、 C/T と反応獲得（獲得に要する強化数）に関する一般式は、次式のように記述される。

$$n = \ln(1 - bT/C) / \ln(1 - \alpha) \quad (1)$$

ここで、 b は学習成立に関する閾値であり、 n はその閾値に到達するのに要するサイクル数である。また、 α は、試行信号が漸近値 (H/T) に到達する際の学習速度のパラメータである。この式を図7のデータへあてはめたのが図8である（ただし、右はし $C/T=97$ の2点は省かれている）。なお、この場合、 $b=1.5$ 、 $\alpha=.005$ で適合している。ただし、(1) 式は、背景の学習が試行開始後すぐに起こるとして導いたものである。

4. ま と め

自動的反応形成の現象は、Brown & Jenkins がハトを被験体として示して以来、さまざまな動物種でその成立が確認されている (Wasserman [1981]; 山田 [1986])。山田 [1986] によれば、魚類をはじめとして、ハ虫類 (オオトカゲ)、鳥類、および種々の哺乳類 (イヌ、ネコ、リスザル、アカゲザル) で反応形成が示されている。この現象が提出した理論的な最大の関心は、オペラント反応のパプロフ型条件づけによる制御の問題であった。そのため、研究的には、この自動的反応形成の獲得（あるいは維持）過程における成立要因の検討が1つの流れとして浮かび上がってくる。

本稿では、自動的反応形成の成立要因のうちの1つである連合要因を検討した。この連合要因に関しては、当初、Brown & Jenkins は、試行刺激 (キイ点灯) と強化刺激 (餌提示) との対提示の手続きが必要・十分条件であると考えた。しかし、パプロフ型条件づけに関する Rescorla の確率論的な指摘に基づく Gamzu & Williams の研究では、この対提示は必要条件ではなく、試行刺激と餌提示との情報性が注目されるようになった。この情報性を試行刺激と強化刺激との随伴性のパラダイムで検討したものが、Gibbon と彼の共同研究者が

提出した随伴性空間である。また、刺激または刺激間の時間的關係で情報性をとらえる研究の流れがあり、その最近の成果として、やはり Gibbon が提出したスカラー期待仮説がある。これら2つのアプローチは、形式上はかなり異なったものと映るが、ともに確率論的な取り扱いをしている点では共通性が認められる。その一番の違いは、期待説では背景率というアイデアを導入していることであろうか。ただし、これら2つのアプローチは、残念ながら自動的反応形成の現象を説明するために特別に用意されたものではない。この現象に適用するためには、いくつかの制約条件を含めた今後の検討が期待されるものである。

注1) Baldock, M. D. (1974) Trial and intertrial interval durations in the acquisition of autoshaped key pecking. Paper presented at the Eastern Psychological Association, Philadelphia.

引用文献

- Brown, P. L. & Jenkins, H. M. 1968 Auto-shaping of the pigeon's key-peck. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 11, 1-8.
- Gamzu, E. & Williams, D. R. 1971 Classical conditioning of a complex skeletal response. *Science*, 171, 923-925.
- Gamzu, E. & Williams, D. R. 1973 Associative factors underlying the pigeon's key pecking in auto-shaping procedures. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 19, 225-232.
- Gibbon, J. 1977 Scalar expectancy theory and Weber's Law in animal Timing. *Psychological Review*, 84, 279-325.
- Gibbon, J. 1981 The contingency problem in autoshaping. In C. M. Locurto, H. S. Terrace & J. Gibbon (Eds.), *Autoshaping and conditioning theory*. New York: Academic Press.
- Gibbon, J., Baldock, M. D., Locurto, C., Gold, L. & Terrace, H. S. 1977 Trial and intertrial durations in autoshaping. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 3, 264-284.
- Gibbon, J. & Balsam, P. 1981 Spreading association in time. In C. M. Locurto, H. S. Terrace & J. Gibbon (Eds.), *Autoshaping and conditioning theory*. New York :

- Academic Press.
- Gibbon, J. , Berryman, R. & Thompson, R. L. 1974 Contingency spaces and measures in classical and instrumental conditioning. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 21, 585-605.
- Gibbon, J. , Locurto, C. M. & Terrace, H. S. 1975 Signal-food contingency and signal frequency in a continuous trials auto-shaping paradigm. *Animal Learning and Behavior*, 3, 317-324.
- Gonzalez, F. A. 1973 Effects of partial reinforcement (25%) in an autoshaping procedure. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 2, 299-301.
- Gonzalez, F. A. 1974 Effects of varying the percentage of key illumination paired with food in a positive automaintenance procedure. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 22, 483-490.
- Jenkins, H. M. , Barnes, R. A. & Barrera, F. J. 1981 Why autoshaping depends on trial spacing. In C. M. Locurto, H. S. Terrace & J. Gibbon (Eds.), *Autoshaping and conditioning theory*. New York: Academic Press.
- 木藤恒夫・松尾太加志 1984 自動的反応形成における CS-US 対提示の影響 (ハト)。日本心理学会第48回大会発表論文集, 346.
- Rescorla, R. A. 1967 Pavlovian conditioning and its proper control procedures. *Psychological Review*, 74, 71-80.
- Rescorla, R. A. 1968 Probability of shock in the presence and absence of CS in fear conditioning. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 66, 1-5.
- Rescorla, R. A. 1969 Conditioned inhibition of fear resulting from negative CS-US contingencies. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 67, 504-509.
- Ricci, J. A. 1973 Key pecking under response-independent food presentation after long simple and compound stimuli. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 19, 509-516.
- 佐藤方哉 1975 オペラント行動と実験的行動分析 —この双生児の来し方行く末—, 心理学評論, 18, 129-161.
- Schwartz, B. & Gamzu, E. 1977 Pavlovian control of operant behavior. In W. K. Honig & J. E. R. Staddon (Eds.), *Handbook of operant behavior*. Englewood Cliffs, N. J. : Prentice-Hall.
- Suzuki, S. S. 1986 Autoshaping. 1. Basic facts and hypotheses. 基礎心理学研究, 4, 89-99.
- Terrace, H. S. 1981 Introduction: Autoshaping and two-factor learning. In C. M. Locurto, H. S. Terrace & J. Gibbon (Eds.), *Autoshaping and conditioning theory*. New York: Academic Press.

- Terrace, H. S. , Gibbon, J. , Farrell, L. & Baldock, M. D. 1975 Temporal factors influencing the acquisition and maintenance of an autoshaped key-peck. *Animal Learning and Behavior*, 3, 53-62.
- Wasserman, E. A. 1981 Response evocation in autoshaping : Contributions of cognitive and comparative-evolutionary analyses to an understanding of directed action. In C. M. Locurto, H. S. Terrace & J. Gibbon (Eds.), *Autoshaping and conditioning theory*. New York: Academic Press.
- Williams, D. R. & Williams, H. 1969 Auto-maintenance in the pigeon : Sustained pecking despite contingent non-reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 12, 511-520.
- 山田恒夫 1986 適応行動としての自動的反応形成：パプロフ条件づけの反応遂行理論. 大阪大学人間科学部紀要, 13, 243-267.