

## DRVスケジュール下の行動：反応間隔の変動性は強化できるか？

立教大学 堀 耕治<sup>1</sup>

DRV schedule performance: Can IRT variability be reinforced?

Koji HORI (Rikkyo University)

### Abstract

Studies have shown that behavioral variability can be increased with procedures explicitly reinforcing variability in response sequences. To examine whether variability of behavior measured on a continuous dimension can also be increased, the present study applied a new reinforcement schedule (differential reinforcement of variable responding schedule; DRV) to the lever pressing behavior of rats. The schedule reinforced responses when the mean deviation of the ten immediately preceding IRTs (interresponse times) was larger than a criterion value. The criterion values were varied across conditions from 0.5 to 2.5 sec in 0.5 sec steps. All rats showed increased variability as a function of the criterion value. The increased variability was not produced by changes in reinforcement density because the other rats trained on VI or VR schedules, reinforcement densities of which were yoked to DRV, did not show comparable increases in IRT variability.

**Key words** : response variability, interresponse time, reinforcement schedule, operant conditioning, rats

正の強化子を反応に随伴させることは、その反応の自発頻度を上昇させるだけでなく、反応の空間的・時間的形態、すなわち反応トポグラフィを固定化する効果も持つ。たとえばGuthrie & Horton (1946)の古典的研究は、棒を傾けることによって脱出可能な問題箱に入れられたネコが、どのような傾け方でも脱出できるにも関わらず、訓練の進行につれて個体によって定型的な反応を発達させることを示した。またAntonitis (1951)は、横長のスロットに対するラットのノーズボーク反応の位置を測定したところ、反応位置の分布は消去条件では広がり、連続強化条件では狭まることを報告している。同様の事実はハットのキーペッキング (Eckerman & Lanson, 1969; Pear, 1985)

やヒットのキー押し反応 (Schwartz, 1982)でも見いだされている。そもそもオペラント条件づけという過程自体、条件づけ前には起こりえていた多様な行動を出発点として、その中から特定のクラスに属す行動だけを選択 (淘汰) していく過程としてとらえることができる (eg., Catania, 1998, pp38-39)。

他方、強化操作を受ける行動にトポグラフィの変動性に関してある種の条件が加えられた場合、正の強化子の呈示によって反応の変動性が増大することも知られている。たとえばPage & Neuringer (1985)のハットを用いた実験では、各試行において左右2つのキーへの合計8回の反応が要求され、この左右反応の系列が、先行するn回の試行のいずれとも異なっていれば強化子が呈示された (nは条件間で操作された)。その結果、

<sup>1</sup> 研究の機会を与えていただいた埼玉医科大学教授、野村正彦先生に感謝いたします。

反応系列の変動性は $n$ の関数として増大した。この研究以後、オペラントの定義に変動性を組み込んで変動性を制御する試みは、ハト (Machado, 1989, 1992; Morris, 1987), ラット (Denney & Neuringer, 1998; Hunziker, Saldana, & Neuringer, 1996; Morgan & Neuringer, 1990), さらにはヒト (Tatham, Wanchisen, & Hine, 1993; 山岸, 1998) でも行なわれており、「変動する反応」という、複数の反応からなるオペラントも強化可能であることが示されてきた。

これらの研究は、しかしながら、その大半がいわゆる離散試行型の手続きで行なわれたものであり、自由オペラント事態で強化による反応変動性の増大を示したものは少ない。またいずれの研究でも、制御の対象としたトポグラフィは、左右のキーに対する反応系列のように、空間的に隔てられた複数の操作体に対する反応の時系列であり、離散的な変化次元において変動するものであった。反応の変動性が、連続量をとるようなトポグラフィにおいても強化できるかどうかについて検討したものはない。

本研究では自由オペラント事態で、かつ連続的な反応次元を用いてこの問題を扱うために、反応間隔 (IRT) のばらつきを強化基準に含むような分化強化スケジュールを考案した。このスケジュールは、IRTのばらつきが、定められた値 (設定値) を越えたときに強化操作を行なうスケジュールである (詳細は手続きの項を参照。以下、このスケジュールを differential reinforcement of variable responding; DRVと呼ぶ)。DRVスケジュールにおいては、セッションは試行間隔で区切られることなく連続的に実施されるし、IRTは計測精度の限界を別とすれば連続的に変化しうる。

したがって本研究の目的は、DRVスケジュールにおいて、設定値に応じて実際にIRTの変動性が増大するかどうかを検討することにある。ここで問題となるのは、単位時間あたりの強化密度や単位反応数あたりの強化密度が、反応率に、したがって当然IRTにも、影響をおよぼすという事実である (eg., Morse, 1966)。すなわち、IRT変

動が増大したとしても、DRVの設定値という変数に直接由来するものなのか、設定値の変化にもなう強化密度の二次的な変化に由来するものなのかを直ちに判別することができないのである。そこで本研究では、比較対照として変動間隔 (VI) スケジュールと変動比率 (VR) スケジュールを用い、前者においては時間次元上の強化密度を、後者においては反応数次元上の強化密度を、DRVスケジュールのそれと等しく保つ連動統制 (yoked control) を行なうこととした。連動VIや連動VRで見られるIRT変動性の変化とDRVのそれを比較することにより、DRVのもつ強化随伴性に固有の効果を見いだすことができる。

## 方 法

**被験体** Fischer 344系雄ラットを12個体用いた。どの個体も実験歴はなく、実験開始時で13週齢であった。実験期間中の体重はホームケージで与える飼量の調節により自由摂食時の85%に維持した。水はホームケージで自由に摂取できた。飼育室の照明は明期、暗期各12時間とし、実験はすべて明期に実施した。

**装置** 反応レバーが1個設置された、標準的なラット用のオペラント箱 (室町機械) を使用した。強化子は 45mgの餌ペレットであった。実験の制御と反応の記録にはコンピュータとしてMSX2+ (SONY) を用いた。プログラミングおよびプログラムの実行環境としてはSN-FORTH (堀・野村, 1991) を用いた。反応の記録は実験の最終段階でのみ累積記録器 (Gerbrands) を用いても行なわれた。

**手続き** 連続強化スケジュールによってレバー押し反応を訓練した後、被験体12個体のうち4個体 (個体番号R9, R10, R15, R16) に対して、レバー押しのIRTの変動に応じて強化操作をおこなうDRVスケジュールの訓練を行なった。このスケジュールは今回新たに考案したもので、反応が生じるたびにその反応を含めて直前10個のIRTの平均偏差 (mean deviation) をもとめ、その値が設定値以上であれば強化するというものである

(以下、DRV n 秒と表記する。ただし n は設定値)。強化後の初発反応に先行する反応間隔は平均偏差の計算から除外した。訓練はDRV 0.5秒より始め、以後0.5秒ステップで DRV 2.5秒まで上昇系列で行なった。各設定値の訓練は、1日50強化からなるセッションを少なくとも10セッション行ない、IRTの四分位偏差 (quartile deviation) と強化率 (強化数/反応数) が、最後の3セッションにおいて一貫した上昇または下降傾向を示さず、かつ10%以上の変動を示さないという安定基準を満たすまで続けた。ただし20セッションを経過しても上記2つの基準を満たさなかった場合は、その設定値での訓練を打ち切った (Table 1)。DRV訓練各セッションにおけるすべての強化間隔と強化間反応数は、以下で述べる連動統制実験を行なうためコンピュータによって記録された。

Table 1 訓練セッション数

DRV 設定値 (sec)	個体			
	R9	R10	R15	R16
0.5	13	16	11	12
1.0	11	20	20	20
1.5	20	20	13	20
2.0	20	10	20	18
2.5	13	18	17	20

それぞれのDRV訓練個体には2個体の対照個体が割り当てられ、DRV個体と同じセッション数の訓練が行なわれた。対照個体には、DRV訓練で記録された強化間隔または強化間反応数を連動させた強化スケジュールの訓練を行なった。強化間隔連動個体の訓練では、記録された逐一の強化間隔が経過するたびに強化準備状態となり、その状態下で反応が生じた時点で強化子が呈示された。すなわちこの手続きは、DRV訓練個体とほぼ同じタイミング、同じ密度で強化操作の行なわれる変動間隔スケジュールであった (以下、連動VIと呼ぶ)。一方、強化間反応数連動個体の訓練では、記録された逐一の強化間反応数が自発された時点で強化子が呈示された。したがってこの手続きは、強化の比率 (強化あたりの反応数) をDRV訓練個体のそれと等しくした変動比率スケ

ジュールということになる (以下、連動VRと呼ぶ)。

以上のように訓練は3個体を1チームとして行なったが、各チームへの12個体の配分、チーム内での強化スケジュールの割り当ては、いずれも無作為に行なった。

分析対象のデータとしては、各設定値の訓練における最後の200個のIRTを用いた。

なおR16のチームのみ、DRV 2.5秒訓練の後、DRV 3.0秒の訓練を行なった。これは累積記録をとるために行なったものであり、数セッションで訓練は打ち切ったので、データの詳細な分析は行なわなかった。

## 結果

Figure 1 に DRV訓練のIRT分布を示す。どの個体のどの設定値の分布においても最頻値は1秒以下にあり、最頻値付近の右寄りに多くのIRTが集まっている。3秒を越えるような比較的長い

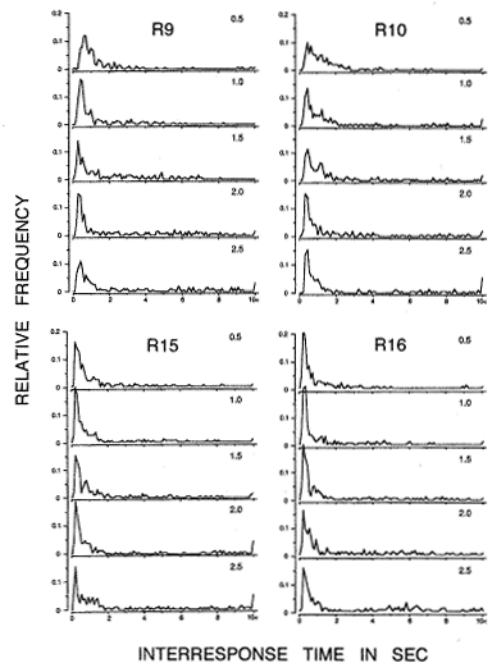


Figure 1 相対度数で描いたDRV訓練個体のIRT分布

各パネル上段中央の英数字は個体名を表し、各段右肩の数字はDRV設定値 (sec) を表している。級区間は0.1sec。ただし右端の級区間は10sec以上のIRTを示す。

IRTは相対頻度としては低く、分布上で小さなピークを示すに過ぎない。ただしR9とR16では、設定値の上昇につれて3秒以上の部分でのピークの数が多少増加し、高さも増す傾向があった。そのような傾向が明瞭ではないR10とR15でも、設定値0.5秒ではほとんど観察されなかった10秒以上の長いIRT（右端の級区間）が、設定値1秒以上において頻度の上昇を示した。

四分位偏差を指標としてIRTの変動を設定値の関数として描いたものがFigure 2である。実線がDRV訓練のデータを示す。IRT分布（Figure 1）において長いIRTの増加が比較的明瞭だった2個体（R9, R16）では、設定値の上昇にともなってIRT変動が顕著に増大している。残りの2個体（R10, R15）でも上昇傾向を示している。一方、DRVに連動した対照個体では、1個体を除いて、IRT変動は一定水準にある（R9, R15のチームの連動VRと連動VIおよびR10のチームの連動VR）か、もしくはDRV個体に比べわずかな変化しか示さない（R16のチーム）かのいずれかであった。R10のチームにおける連動VI個体は、変化幅としてはDRV個体に匹敵するものの、設定値とIRT変動の間に単調な傾向を示さなかった。

Figure 3はIRTの中央値を設定値の関数として描いたものである。DRV個体ではR16におい

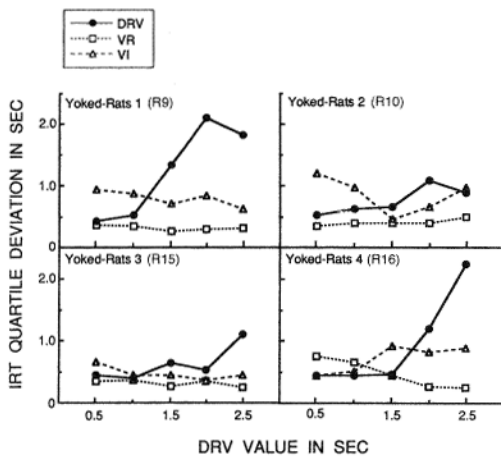


Figure 2 IRT四分位偏差とDRV設定値の関係

点線は、実線で描かれたDRV個体に連動したVRおよびVI個体のデータを示す。

てわずかに上昇傾向が見られるが、対照個体における変化に比べ大きいものとは言えない。その他のDRV個体では設定値によらず概ね一定の中央値を示した。

参考までに、設定値3.0秒における累積記録の一例をFigure 4に示す。累積記録に現れる巨視

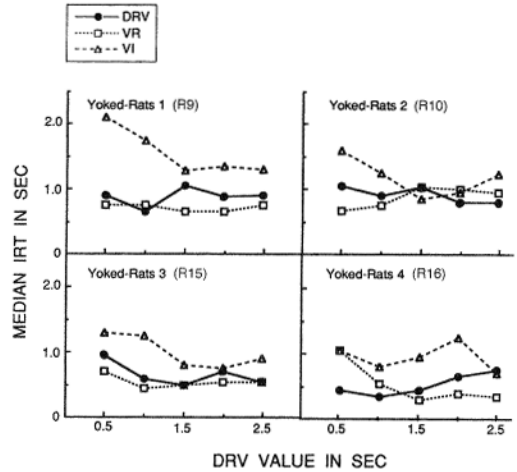


Figure 3 IRT中央値とDRV設定値の関係

点線は、実線で描かれたDRV個体に連動したVRおよびVI個体のデータを示す。

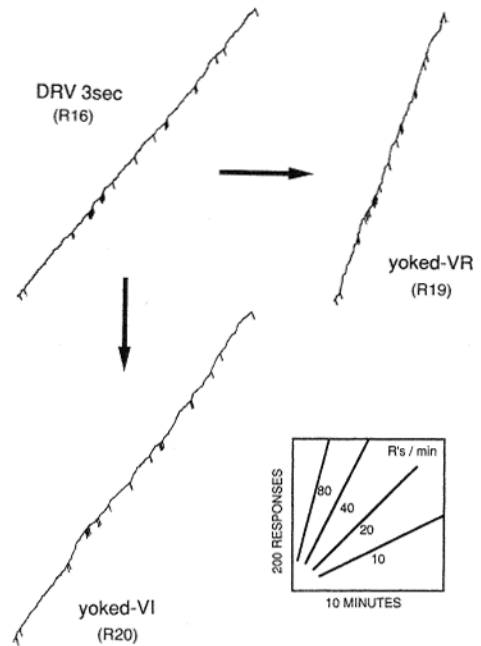


Figure 4 DRV3.0秒およびこれに連動したVR, VIの代表的な累積記録

矢印は連動関係を示す。



的な反応パターンからは、スケジュール間の違いはほとんど読みとれない。とくに、DRVとVIでは記録の勾配によって示される反応率の点でも大差がなかった。

## 考 察

個体間で細部においては一致しないが、IRTの変動はDRVの設定値に対応して増大する傾向を示した。ただしDRVの設定値が増大すれば、強化基準を満たす反応は相対的に減少するため、強化密度も減少する。したがってIRT変動の変化は強化密度の変化によって生じたという可能性も考えられた。しかし強化密度をDRVのそれと等しく保った連動VRスケジュールや連動VIスケジュールでは、DRVで見られたほどの一貫したIRT変動の変化は観察されなかった。

強化密度とならんで、もうひとつ言及しておくべき問題がある。IRTや反応潜時など、時間的な従属変数においては、その値が全般的に増大しただけで、散布度に関する統計量も増大する傾向を

もつ (eg., 堀・小川, 1977; Powell, 1974)。すなわちデータ分布の中心傾向が大きな値にシフトすれば、分布そのものが引き伸ばされ、結果的に分布の散布度指標が増大することがある。したがってDRVがもつ強化随伴性の主要な効果が、低反応率分化強化 (DRL) スケジュールのようにIRTを延長することにあつたとしても、IRTの変動性は統計量の上で増大する可能性がある。しかしFigure 3で示したように、中央値で見ると、DRVの設定値の上昇は中心傾向にほとんど影響をおよぼさなかった。

以上のことから、IRTの変動性を強化することを意図したDRVスケジュールにより、IRTのばらつきが実際に増大すること、またこの変動性の増大は強化密度の変化やデータ分布の中心傾向の変化といった副次的な変数によって見かけ上もたらされたものではないことが結論づけられる。

本研究は設定値のレンジとして0.5~2.5秒という比較的小さな値をとっている。それ以上の値で

も、今回見られたような効果が見られるのか、それとも質的に異なる効果が生じるのかは不明であり、今後の課題として残る。また分化強化の対象となる変動性は直前の10個のIRTに限定して計算されたが、これは使用したコンピュータの演算速度に由来する制約であった。系列反応の変動性を検討した先行研究 (Page & Neuringer, 1985) では、変動性をもとめるために参照されるデータサイズ (lag) によって変動性が異なることが示されている。したがってDRVにおいても、lagの値は今後検討すべき重要な独立変数であろう。さらに、やはりコンピュータの演算速度を考慮した結果であるが、本研究では反応ごとに変動性を実時間で求めるために、演算負荷の低い平均偏差を用いた。しかし平均偏差は少数の極端な値によって大きく動く統計量である。分布の全体的な変動性を分化強化するには、たとえば今回のデータ分析で用いた四分位偏差など、いわゆる外れ値に対して頑健な統計量が適していると思われる。

最後に、今回の実験では安定基準を満たさず20セッションで訓練を打ち切った条件が多かった (Table 1)。これは、2つの安定基準を同時に満たすという制約が厳しすぎたためである。セッション毎のデータの推移の視察によれば、20セッションで打ち切った場合でもデータはかなり安定しており、それ以上訓練を続けたとしても、大きな変化はなかったものと考えられる。

## 引用文献

- Antonitis, J. J. 1951 Response variability in the white rat during conditioning, extinction, and reconditioning. *Journal of Experimental Psychology*, **42**, 273-281.
- Catania, A. C. 1998 *Learning*. 4th ed. Upper Saddle River, N. J.: Prentice Hall.
- Denney, J. & Neuringer, A. 1998 Behavioral variability is controlled by discriminative stimuli. *Animal Learning & Behavior*, **26**, 154-162.
- Eckerman, D. A. & Lanson, R. N. 1969

- Variability of response location for pigeons responding under continuous reinforcement, intermittent reinforcement, and extinction. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **12**, 73-80.
- Guthrie, E. R. & Horton, G. P. 1946 *Cats in a puzzle box*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Hunziker, M. H. L., Saldana, L., & Neuringer, A. 1996 Behavioral variability in SHR and WKY rats as a function of rearing environment and reinforcement contingency. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **65**, 129-144.
- 堀耕治・野村正彦 1991 MSX 2 + を用いた行動実験制御システムの開発 日本生理学雑誌, **53**, 169-170.
- 堀耕治・小川隆 1977 デンショバトにおける時間弁別行動の分析 動物心理学年報, **27**, 87-94.
- Machado, A. 1989 Operant conditioning of behavioral variability using a percentile reinforcement schedule. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **52**, 155-166.
- Machado, A. 1992 Behavioral variability and frequency-dependent selection. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **58**, 241-263.
- Morgan, L. & Neuringer, A. 1990 Behavioral variability as a function of response topography and reinforcement contingency. *Animal Learning & Behavior*, **18**, 257-263.
- Morris, C. J. 1987 The operant conditioning of response variability: Free-operant versus discrete-response procedures. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **47**, 273-277.
- Morse, W. H. 1966 Intermittent reinforcement. In W. K. Honig (Ed.), *Operant behavior: Areas of research and application*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall. Pp. 52-108.
- Page, S. & Neuringer, A. J. 1985 Variability is an operant. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **11**, 429-452.
- Pear, J. J. 1985 Spatiotemporal patterns of behavior produced by variable-interval schedules of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **44**, 217-231.
- Powell, R. W. 1974 Comparison of differential reinforcement of low rates (DRL) performance in pigeons (*Columba livia*) and crows (*Corvus brachyrhynchos*). *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, **86**, 736-746.
- Schwartz, B. 1982 Reinforcement-induced stereotypy: How not to teach people to discover rules. *Journal of Experimental Psychology: General*, **111**, 23-59.
- Tatham, T. A., Wanchisen, B. A., & Hineline, P. N. 1993 Effects of fixed and variable ratios on human behavioral variability. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **59**, 349-359.
- 山岸直基 1998 人間行動の変動性に及ぼす強化随伴性の効果 行動分析学研究, **12**, 2-17.