HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	動物とヒトにおける時間弁別機構についての研究法とそのモデル
Author(s)	岩本, 隆茂; 山田, 弘司
Citation	北海道大学人文科学論集, 24, 35-99
Issue Date	1986-03-17
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/34382
Type	bulletin (article)
File Information	24_PL35-99.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

動物とヒトにおける時間弁別機構についての研究法とそのモデル

岩本隆茂
山田弘司

目　次

I　はじめに ……36
II　生物時計と動物の適応行動 ……37
1．サーカディアンリズムと生物時計 ……37
2．生物時計の構造と性質 ……37
3．動物の適応行動における生物時計の役割 ……39
III　動物の時間弁別行動の研究法 ……41
1．見積り法に相当する実験手続き ……42
1－1　GO/NO-GO 事態において提示される正・負の見本刺激の時間間隔を2つのカテゴリーに分類する手続き ……42
1－2　試行事態において提示される見本刺激の時間間隔を2種類の操作体に対する反応で分類する手続き ……42
1－3　自由反応事態で見本刺激を2種類のカテゴリーに分類する手続き ……43
2．再生法に相当する実験手続き ……43
2－1　古典条件づけによる手続き ……43
2－2　オペラント条件づけによる手続き ……45
2－2－a　時間（temporal）強化スケジュール ……45
2－2－b　時間分化（temporal differential）強化スケジュール ……47
2－2－c　反応依存変容型分化強化スケジュール ……51
2－2－d　回避条件づけ ……52
3．これらの研究法によって得られた時間弁別行動の結果 ……52
4．時間弁別行動と生物学的制約の相互作用 ……55
IV　動物とヒトにおける時間弁別機構のモデル ……57
1．定性的モデル ……57
1－1　時間条件づけについての Pavlov の刺激の内部強度弁別説 ……58
1－2　FI 強化スケジュールについての Skinner の反応時間間隔弁別説 ……58
1－3　FT スケジュールについての Skinnerの“迷信行動”説 ……59
1－4　FI 強化スケジュールについての Ferster と Skinner の反応連鎖説(狭義)と，Dews の反応連鎖説（広義） ……60
1－5　FI 強化スケジュールについての Dews の強化遅延説 ……62

1－6　FI強化スケジュールについての Schneider の2状態モデル ……63
1－7　Church の体内時計仮説 ……64
1－8　DRL スケジュールについての Iwamoto の IRT/RL の生起時系列モデル ……74
1－9　吉野・川俣・岩本による IRT 母集団の分化仮説 ……76
2．定量的モデル ……76
2－1　Killeen の行動の時間的コントロール理論 ……77
2－2　Logan のハイブリット理論 ……80
2－3　Hanson と Killeen のカウント・レジスターモデルと自動触媒モデルからなる2段階モデル ……85
2－4　Gibbon のスカラー期待理論 ……86
2－5　McGill の反応潜時モデル ……87
2－6　Norman のストカスティック潜時モデル ……88
3．時間弁別機構のモデルについてのまとめ ……89
V　おわりに ……90
VI　引用文献 ……92

I　はじめに

動物がそれまでの生活経験から外部環境で生起するさまざまな事象を予測し，それに対応した適切な行動をとることができれば効率的な餌の摂取や外敵の攻撃からの回避ができ，その個体の生存の可能性が高められその動物の属している種の保存にも有利となるだろう。このような生起事象の予測とそれに対応する行動を行うには，その動物みずからが置かれている環境の現在時間や過去時間を把握し，さらにこれからの時間の進行を測定する能力が備わっていなければならない。そのような時間の進行に対応した行動をすることによって自己そしてその動物種の生存可能性が高まることは，その動物における一種の“適応戦略”であると解釈することができる。このような視点から動物やヒトの行動を分析すれば，それらにおける時間の役割はきわめて重要で，時間と関連のないものは非常に特殊で限定されたものになってしまう(岩本，1978)。本論文のII章では，動物の周期的な自発的活動や，実験室場面における動物やヒトの時間弁別行動† などについて考察する。時間弁別行動は心理学のみならずさまざまな領域と関連する基本的かつ重要なテーマであるが，薬物と時間弁別行動との関係や時間弁別の生理心理学的機構については他論文（岩本・和田，1984；岩本・和田，1985 a；岩本・和田，1985 b：和田，岩本，1985）ですでにわれわれが取り上げているので，本論文のIII章とIV章では時間弁別行動の研究法と時間弁別機構に関して提案されている定性的モデルと定量的モデルについての展望を行う。

† 時間弁別とは狭義には独立変数（時間軸上での強化の生起）と従属変数（反応生起）との時間軸上での関係である。本来の意味合いでは，経過時間を弁別刺激と見なしている。たとえば，FI 強化スケジュールでは強化後しばらくの時間が非強化を示す弁別刺激となっているとされる。

II　生物時計と動物の適応行動

1．サーカディアンリズムと生物時計

生物の活動のなかには，周期的に変化しているものが数多くある。たとえば睡眠，覚醒リズム，内分泌リズム，自発的活動のリズムなどがあげられるが，これらの諸活動にも周期が約24時間であるものがとくに多く，このような周期的活動は「約一日の（about a day）リズム」を意味するサーカディアンリズム（circadian rhythm）という名称がつけられており，概日周期と訳されている。しかしある種の海洋生物では12時間周期の活動がみられ，それは約12時間を意味するサーカタイダルリズム（circatidal rhythm）と呼ばれている（Halberg, 1959）。これらのリズムのほかにも，1日より短い周期（約20時間未満）で起こる活動リズムはウルトラディアンリズム（ultradian rhythm），1日よりも長い周期（約28時間以上）で起こる活動リズムはインフラディアンリズム（infradian rhythm）と呼ばれている（Halberg *et al.*, 1973；井深，1985）。このような植物や動物における周期的な活動の変化を研究する分野は時間生物学（chronobiology）と呼ばれ，比較的最近急速に展開し始めた研究領域である。われわれをとりまく外部環境には周期的に変化している事象が数多くみられるため，生物におけるさまざまな外的・内的活動のうちのあるものは外部環境の変化に対応して周期的に活動している可能性が考えられる。しかし，このような周期的活動を示している生物を恒明条件，あるいは恒暗条件などの照度が一定の恒常条件に移して外部環境の変化をなくしてしまった場合にも，依然として周期的な活動が維持されることが知られている†。このように，周期的活動のなかには外部環境にそれほど依存しない活動もあり，恒常条件でもみられるこのような周期的活動は自由継続リズム（free－running rhythm）と呼ばれている（Halberg *et al.*, 1973）。

自由継続リズムが維持される機構については，それは電磁場の変化のような実験者が統制していない外部環境要因を，動物が知覚することによって生じるという意見がある（Brown, 1976）。しかし一般的には，生物にほぼ24時間周期の自律的な発振装置（oscillator）が備えられているという仮説が支持されている（川村，1985）。この自律的な発振装置は生物時計（biological clock）と呼ばれており，生物学の分野では重要な研究対象として注目されている††。

2．生物時計の構造と性質

生物時計の生理学的・解剖学的な存在を実証しようとする試みは，これまで活発に行われて

† たとえば古くはJohnson（1939）によって恒暗条件におけるネズミの活動期と休息期の周期性が研究されている。

†† 動物の24時間周期の活動をつかさどる時計は，生物時計という名前で呼ばれているほかに，体内時計（internal clock）とも呼ばれるが，本論文では後の章で体内時計という用語を比較的短い周期の時計を示す用語として使うため，ここでは24時間周期の時計に対しては生物時計という用語を用いる。

きている。昆虫では，ゴキブリやコオロギなどを被験体とした切除実験により内分泌説，神経電気－内分泌説，神経電気説の3説が提唱されてきた。内分泌説では，Harker（1956，1958，1960 a，1960 b）により食道下神経節（suboesophageal ganglion）の分泌細胞と側心体（corpora cardiaca）が生物時計の中枢であるとされた。しかし，追試による再現性が乏しいことから，Roberts（1966）はかれの実験結果にもとづいて脳間部（pars intercerebralis）の神経分泌細胞がその中枢であると指摘した。これらの内分泌説に対して宇尾（1977）は生物時計の中枢が視葉にあり，そこから発せられる電気的信号が脳間部の側神経分泌細胞に周期的な分泌活動を生じさせるとする，神経電気説と内分泌説の折衷案を提案した。また，Brady（1967，1969）は視葉に生物時計の中枢は位置するが，そこからの信号は内分泌系を介さずに活動リズムをつくるとした。現在，まだこれらの説の妥当性については盛んな議論が行われている。ゴキブリ以外の動物ではネズミやハムスターといった齧歯類の場合には，視床下部（hypothalamus）の視叉上核（suprachiasmatic nucleus：SCN）の両側性切除によってネズミの睡眠覚醒周期（Ibuka & Kawamura, 1975）やハムスターの性周期（Stetson & Watson-Whitmyre, 1976）が失われることなどから，齧歯類ではSCNが生物時計の中枢であるとする説が有力である。一方鳥類では松果体内の*N*-acetyltransferase（NAT）が顕著な日周リズムを示すことから，生物時計の中枢は松果体にあると考えられている（出口，1982）。

内分泌系や中枢神経系以外にも生物時計の存在は求められており，RNAやDNAによって行われるタンパク質合成という生化学的変化がリズムを発生しているとする生化学説もある。この仮説は，RNAやDNAの生成を妨げるタンパク質合成阻害剤の投与によって自発的活動の周期が長くなるという現象によって支持されている。たとえばFeldman（1967）は，cycloheximideというタンパク質合成阻害剤がミドリムシの走行性反応の周期に及ぼす影響を検討した。恒暗条件のもとで23.7時間の走行性反応の周期活動を示していたミドリムシをcycloheximideを含んだ水溶液のなかで生活させたところ，cycloheximideの濃度に依存してその活動周期が長くなることを観察した。

そのほかに，細胞膜の電位変化とそれに関係するイオン的平衡がリズムを生成しているとする膜生物学からの仮説もある。この説は，細胞膜の電位とイオン的平衡に影響を与える化学物質，たとえば重水（D_2O）によって，活動周期が長くなることから支持されている（Bruce & Pittendrigh, 1960）。

生物時計の遺伝に関しては，発生の直後から環境を一定の条件に保って飼育した動物の行動によって検討されている。それによると，発生のごく初期から恒常条件に置かれていた動物にもサーカディアンリズムが現われる事実から，動物ではサーカディアンリズムが生得的な性質であることが示唆されてきた。たとえばAschoffとMeyer-Lohmann（1954）はニワトリのひなを照度，温度，湿度を恒常に保ってふ化・飼育したところ，25.4時間周期の活動がみられたことを報告しており，Hoffmann（1957）はカナヘビを恒温・恒暗条件でふ化・飼育して，ふ化後

14日間について，活動周期が23.0時間から24.7時間のあいだに保たれていたという結果を示している。

生物時計の概念は一般に用いられてはいるが，現時点ではその機構はほとんど解明されていない。たとえば時計の所在はどこであるのか，時計はいくつあるのか，またその時計の周波数などという問題がこれまで研究されてきている（川村，1985）。

3．動物の適応行動における生物時計の役割

つぎに周期的に餌や危険などの事象が生起する場合に，動物が適切な予期的行動を行う現象を紹介して，時間を知るのに生物時計が使われている可能性を検討する。

ミツバチや多くの鳥類は，太陽や星といった天体の位置によって方向を知ることが知られているが，天体は時間の経過とともに規則的にその位置を変える。そのため，1日の時間の経過や季節を計測していないと天体の位置から現在の自分の位置やこれから移動すべき方向を割り出すのは不可能であり，これらの動物ではサーカディアンリズムを時計として使っている可能性が示唆されている（桑原，1963）。

また，たとえばネズミは24時間周期で餌を与えられると，給餌の直前に副腎皮質ホルモンの分泌量が増加し体温が低下するといった生理面での給餌を予測する活動や走行活動が現われるようになった(Krieger, 1974)。このように特定の時間に特定の事象を生起させるという経験を反復させると，その事象の生起を予告する先行刺激を示さなくても予期的な行動が生じるようになり，その事象を生起させなくてもそれに対する予期的行動がしばらくは維持されることが知られている。鳥類でもある種の鳥（*Falco tinnunculus*）では，狩に行く場所をいくつかもっている場合，ある場所で狩が成功した場合はつぎにそこに訪れる頻度はその狩の24時間後に高くなった。このようにこの鳥は時間軸上で狩の成果がもっとも期待できるように，狩をする場所とその時間とを選択した(Rijnsdorp *et al*., 1981)。また，ミツバチは，ある場所で24時間間隔で給餌を受け続けると，餌が与えられなくなってもしばらくはその場所に24時間周期で訪れた（Bünning, 1973）。

このような行動は，動物がなんらかの手段によって1日の時間を弁別し得ることを示唆しており，このような24時間の間隔の弁別にはサーカディアンリズムが関与していると考えられる。それは強化事象の周期的生起が24時間のほぼ整数倍であるときには予期的行動が生じやすいが，それ以外の時間間隔で訓練した場合には予期的行動が生じにくいからである。

ネズミに1試行の受動的回避学習かまたは多試行の能動的回避学習を訓練したのち，15分間から30時間にわたる間隔をおいてテスト試行を行った結果，どちらの回避学習事態でも24時間の間隔をおいてテスト試行を行ったときにもっとも回避学習の成績がよかった(Holloway & Wansley, 1973a)。ネズミに受動的回避学習を1試行だけ経験させ，そのつぎの再学習までの時間間隔を15分から72時間に広げて時間間隔の効果を検討したところ，学習時と再学習時の時

間間隔が24時間の整数倍のときに成績がよかった（Holloway & Wansley, 1973b）という報告もある。

サーカディアンリズムが24時間周期の給餌によって現われるネズミの給餌予期行動に大きな役割をもっていることは，給餌時間間隔を20時間から30時間のどこかに設定して実験すると，23時間から29時間の条件内に限定して予期行動が生じたこと（Stephan *et al.*, 1979b；Stephan, 1981）からも示唆される。給餌予期行動が給餌の何時間前から始まるかを分析すると，給餌時間間隔の周期を短くするとそれに対応して予期行動の開始時間も早くなり（Stephan, 1981），給餌時間間隔は変えないままで給餌時刻を変更した場合にはその給餌時刻に追従して予期行動の時間も移行し，給餌をやめたときでも数日間はその時刻での予期行動が持続していた（Stephan, 1984）。これらのことも給餌予期行動にサーカディアンリズムが関与している根拠としてあげられる。またネズミに1試行の受動的回避学習を24時間間隔で行っているときに明暗のような外部環境刺激の周期の位相を逆転させると回避学習の成績がいちじるしく低下するが，移動活動などの一般活動性のサーカディアンリズムは逆転された位相に対応してすばやく移行する（Tapp & Holloway, 1981）ことから，約24時間の時間間隔の弁別行動がサーカディアン機構から発生するサーカディアンリズムに依存していることを示す証拠となるだろう。

前述したように，サーカディアンリズムの発生部位として齧歯類ではSCNがたしかめられているので，周期的な給餌に対する予期行動がサーカディアンリズムと関係するならば，SCNと予期行動きも関係があるはずである。この関係については，ネズミのSCNを除去した場合の行動から確認されている。この部位の除去によって，睡眠・覚醒サイクルのサーカディアンリズムが消滅したり（Ibuka & Kawamura, 1975），回避学習で学習時と再学習時の成績が24時間間隔のときにもっともよくなるという時間間隔依存性が現われなくなった（Holloway *et al.*, 1980）ことが報告されている。しかし給餌予期行動についてはSCNの除去によってその行動が消滅しないという報告もあり（Stephan *et al.*, 1979a），給餌予期行動そのものにはSCNは影響を与えていない可能性がある。ただし，一般的にはサーカディアンリズムと給餌予期行動には関係があることから，SCN以外にもなんらかのサーカディアンリズムの発生部位が存在するとも考えられる。

ここまでは生物時計と24時間前後という比較的長い時間に対応した活動との関係について論じてきたが，もっと短い時間を判断するのに生物時計がどのような影響をあたえているのであろうか。この問題については，ヒトを被験者として自由継続リズムが維持されているときの時間評価† が分析されている。MacLeodとRoff（1938）は2人の被験者を時間を知る手がかりの

† ヒトの時間評価の代表的な研究方法には，実験者が提示した時間間隔の長さを分・秒などの時間単位で報告させる言語的見積り法（method of verbal estimation），実験者が秒・分といった時間単位で教示した時間間隔を同一の時間間隔だけスイッチなどを操作して構成させる作成法（method of production），実験者が提示した時間間隔を時間間隔として再現する再生法（method of reproduction），継時的に提示される時間間隔の長さを比較させる一対比較法（method of comparison）がある（Allan, 1979）。

ない状況でそれぞれ48時間と86時間だけ生活させ，現在時刻およびそれまでの経過時間を言語的見積り法によって評価させた。その結果，現在時刻はそれぞれの被験者で最続的に40分間と20分間の誤差しか生じなかったが，経過時間の評価値は平均して過小評価される傾向が現われ，その誤差は睡眠時間以外においても最大で＋50%，－60%にも達した。LavieとWebb（1975）は13人の被験者を実験中に自転車のペダルこぎという身体運動を課せられた群と自由に過ごすことが許された群の2群に分け，時間を知らせる手がかりのない条件で14日間生活させて被験者に現在時刻の評定値を報告された。睡眠時間については両群とも評定値は比較的正確であった。しかし覚醒している時間については自由に過ごせた群では現在時刻の評価が比較的正確であったが，運動を課せられた群では過小評価された。

Aschoff（1984）は自由継続リズムにいるヒトの覚醒時間と，作成法による時間知覚との関係を分析した。その結果作成する時間が1時間である場合には覚醒している時間の長さと作成時間の長さとには相関があったが，10秒から120秒というそれに比してかなり短い時間を作成させた場合には相関はなかった。この結果では1時間の作成にはサーカディアンリズムを作り出す機構が関与している可能性があるが，数分以下の時間にはまったく別の時計機構を想定する必要があるように思われる。

齧歯類のうちのある種（microtine rodents）に属する動物（*Microtus arvalis*）では，2～3時間周期の摂食のウルトラディアンリズムがサーカディアンリズムの変化によって影響を受けるという知見があり（Hoogenboom *et al*., 1984），この場合にはこのような短い時間間隔の判断とサーカディアンリズムとの関係も示唆される。しかしながら，数分以下のような短い時間間隔の知覚や弁別がウルトラディアンリズムの生成と，同一の時計機構によって行われているという積極的証拠がいまのところないので，短い時間間隔の弁別もウルトラディアンリズムを生成する時計機構によって影響を受けているとは結論できない。

このように，サーカディアンリズムと動物の自律的な生理活動や学習行動とのあいだには明白な関係があり，約24時間周期のものだけでなく比較的短い時間の適応行動も含まれる場合もある。サーカディアンリズムの機構を支えているものとして提案されている生物時計の実在性は，約24時間周期の活動については実証されてきた。しかし，短い時間の知覚における生物時計の役割は現時点では明らかではない。今後，中枢神経系の生理学的，解剖学的な知見の増大とともに生物時計の構造や機能に関する知見がしだいに蓄積され，数分以下のような短い時間の知覚やその弁別の機構も明らかとなることが期待される。

III　動物の時間弁別行動の研究方法

ヒトの時間知覚や時間弁別の代表的な研究方法のなかに，実験者が刺激などを用いてある時間間隔を物理的に提示し，被験者にその時間の長さや分や秒で言語的に置き換えて答えさせる

言語的見積り法と，実験者がおなじような方法である時間間隔を提示し，被験者にそれとおなじと思われる時間をなんらかの方法によってみずから再現させる再生法がある（Allan, 1979)。Church(1978)は，動物の時間弁別行動の研究方法もこの分類を適用した。このような分類は，ヒトと動物における時間弁別行動の比較心理的研究には有用であると思われる。そこで，本章でも見積り法と再生法に分類した時間弁別の研究法を紹介し，それらの研究法によって得られた時間弁別行動の結果を概観する。

1．見積り法に相当する手続き

動物における見積り法の特徴は，時間間隔の判断を時間を反応時間間隔や反応持続時間で構成するのではなく，ある長さの時間だという〝判断〟を，たとえば左右の梃子のいずれかを押すという選択反応によって行うことにある。この方法によって主観的等価値（PSE）や弁別閾(DL)などを算出することができることから，動物における時間弁別行動の精神物理学的研究法ともよばれている。しかし動物の時間弁別の研究では見積り法が用いられることは比較的少ない。

1－1　GO／NO-GO事態において提示される正・負の見本刺激の時間間隔を2つのカテゴリーに分類する手続き

この訓練手続きでは，正刺激が提示されたときには反応し負刺激が提示されたときには反応しないことが要請される。したがって，正刺激の長さとわずかに異なっている負刺激を提示すれば反応が生じやすいが，それが大きく異なっているならば反応が生じにくく，正刺激と負刺激の差に依存して刺激般化勾配が求められる。Blough (1972) は，刺激の般化勾配を求める方法として般化維持手続き（maintained generalization procedure）を考案した。Churchと Gibbon (1982) は，この手続きを用いネズミを被験体として，見本刺激時間の弁別行動の研究を行った。かれらは，試行事態においてハウスランプの消灯によって0.8秒から7.2秒にわたる9種類の長さの視覚刺激のいずれか1つを提示した。4秒の刺激が正刺激とされ，それより短いかそれより長い刺激は負刺激とされた。5秒間の反応可能時間が設けられ，正刺激が提示されたときに梃子押し反応をした場合にだけ強化刺激が与えられ，負刺激の提示に対する反応や正／負の刺激に対する無反応には強化刺激が与えられなかった。この手続きのもとでの刺激般化曲線を，横軸に見本刺激の時間をとり縦軸に反応率（反応数／試行数）をとって描くと正規分布状の般化曲線が描かれた。

1－2　試行事態において提示される見本刺激の時間間隔を2種類の操作体に対する反応で分類する手続き

Kinchla(197)はハトを被験体として，5秒間の標準刺激と2，3，4秒の比較刺激を持続音として用意した。それらの刺激のうちの1つを持続音で聴覚的に提示し，標準刺激と比較刺激の持続時間を弁別させた。ある試行で標準刺激が見本刺激時間として提示されたなら右のキーへ

の反応（“長い”というカテゴリー）が強化され，比較刺激が提示されたならば左のキーへの反応（“短い”というカデゴリー）が強化された。Stubbs (1968) はハトを用いて，見本刺激時間を10種類用意し，たとえば見本刺激時間が1秒から10秒きざみで10種類の場合では，1秒から5秒の見本刺激時間が中央のキーの点灯時間によって視覚的に提示された場合には一方の側のキーへの反応を強化し，6秒から10秒の場合にはもう一方の側のキーへの反応を強化した。

2種類の見本刺激時間のPSEを測定する手続きも考案されている。ChurchとDeluty(1977)はネズミに2つの梃子を用意し2種類の見本刺激時間（たとえば2秒と8秒）に対してそれぞれ“短い”，“長い”という2つのカテゴリーの反応を強化してこの2種類の見本刺激時間の弁別学習をさせた(見本刺激時間選択法と呼ぶ)。その学習が完成したあとで，その2種類の見本刺激時間の中間値のいくつかの見本刺激時間（たとえば3，4，5，6．7秒の5種類）をプローブ刺激として用意して2，8秒の刺激の提示頻度はそれぞれ25%，プローブ刺激の提示割合はそれぞれ10%としてランダムに提示した。そのさい，プローブ刺激に対する梃子押し選択反応には強化は与えられなかった。各見本刺激時間について，“長い”というカテゴリーに選択される割合を算出しそれを図示したときに50%の割合になる時間がPSEとみなされた(66頁-68頁を参照)。

1－3　自由反応事態で見本刺激を2種類のカテゴリーに分類する手続き

Stubbs(1976)はFindley型の並列強化スケジュール(岩本, 1982を参照)を用い，ハトを被験体として2種類の値の強化可能時間の弁別を行わせ，そのさいのPSEを求めた。その訓練手続きでは，右のキーが切り換え用で左のキーが強化用になっているスキナー箱が用いられた。試行が始まると，はじめは切り換え用キーは白で強化用キーは緑であるが，切り換え用キーへの反応によって強化用キーの色が緑と赤に交互に切り換わった。半数の試行では，試行開始から2秒目から4秒目までという短い経過時間内において，かつ強化用キーが緑ならば強化が可能であり，残りの半数の試行では，試行開始から60秒から64秒目といった長い経過時間内でかつ強化用キーが赤ならば強化が可能であった。短い時間と長い時間の組み合せは8種類用意され，その時間差が少ない組み合わせでは24秒から27秒目までの短い時間と45秒目から48秒目までという長い時間であり，その差が大きな組合せでは30秒目から40秒目までと150秒目から160秒目までであった。この実験で測定されたPSEはChurchとDeluty (1977) の場合と同様に2種類の時間の幾何平均であった。

2．再生法に相当する手続き

つぎに再生法に相当する方法を，条件づけの2大パラダイムである古典条件づけとオペラント条件づけの分類にしたがって概観する。

2－1　古典条件づけ

遅延条件づけ (delayed conditioning) や同時条件づけ (simultaneous conditioning) などの古典条件づけを用いて，時間弁別行動を研究することも可能である。たとえば，ある時間持

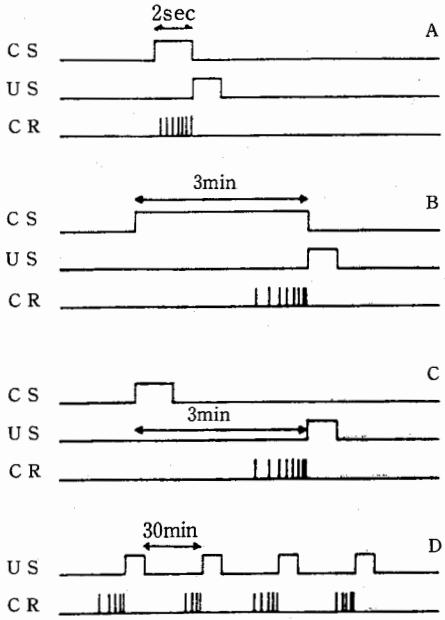


図1　古典条件づけの手続き
Aは一般的な手続きでCSとUSとは時間的に接近して与えられる。Bは遅延条件づけ，Cは痕跡条件づけの手続きである。Dは時間条件づけで，この場合にはCSの提示はない（Richelle & Lejeune, 1980）。

続する条件刺激を正制激とし，それとは異なる時間持続する条件刺激を負刺激として，正刺激が提示されたときだけ無条件刺激を提示する。この分化条件づけが学習され正刺激の提示に対してのみ条件反応が生起するようになったあとで，正刺激と負刺激の中間の値の刺激時間を提示して，その刺激に対する反応を測定することによって，時間刺激に対する反応の分化を検討することができるとも考えられる†。しかしこのような方法で時間弁別行動を検討するには，被験体に対して提示される刺激時間がどこで終了するのかについての手がかりに対する実験的制御が実際上困難である。さらに古典条件づけにおける条件反応は，条件刺激の提示に対して応答的・自律的に生起するからある時間の正刺激を用いればそれより長い時間の負刺激に対する条件反応の分化は生じにくい。

古典条件づけではあるが，明確な条件刺激の提示をもたない手続がある。それは時間条件づけ（temporal conditioning）と呼ばれ，一定時間間隔の無条件刺激の提示に先立って条件反応が誘発されるようになる手続きである。無条件刺激が30分ごとに与えられる手続きでは，無条

† また，Pavlovはメトロノームの振動数の違いで正刺激と負刺激を設定し，分化現象の研究を行った。この手続きは時間間隔を弁別刺激とするものではないが，振動数を弁別するには単位時間を正確に判断するか，あるいはある振動数にはどれだけの時間がかかるかを正確に判断しなければならないので，時間の判断が必要不可欠な事態である。

件刺激の提示時間が近づくと図1のDのように条件反応が生じる。この場合条件刺激となるべき刺激はある無条件刺激の提示とつぎの無条件刺激の提示までの時間間隔と考えられる。この時間条件づけで現われる給餌を“予期”する行動と，I章で紹介した24時間周期で与えられる食物を“予期”する行動は，時間の単位に相違はあっても同一の構造をもっている。

2－2　オペラント条件づけ

オペラント条件づけでは，強化スケジュール(schedules of reinforcement)と呼ばれる，所定の反応と強化刺激の提示との関係を規定した一連の手続きによって実験場面が構成される。オペラント条件づけのなかには時間を変数としたものも多く，この方法を用いて時間弁別行動の研究もさかんに行われている。この論文では，時間弁別行動を生起させる強化スケジュールを網羅的には紹介せず，そのなかの重要と思われるものについてのみ言及する。一般的な強化スケジュールの詳細については，岩本（1982, 1984, 1985）を参照されたい。時間分化強化スケジュールのなかに含まれる反応依存型分化強化スケジュールについては，岩本ら（1984）にくわしく述べられている。

2－2－a　時間（temporal）強化スケジュール

時間強化スケジュールの代表的なものの1つは，定時（fixed interval：FI）強化スケジュールである。この強化スケジュールは，直前の強化からある一定の時間以後に自発された所定の反応に対して強化刺激を提示する手続きである。この強化スケジュールのもとでの典型的な行動は，強化可能（reinforcement available）時間が近づくと反応頻度が加速度的に増加する傾向で，そのさいの累積反応数のグラフ(cumulative response curve)の特異的な形はFIスキャラップ（FI scallop）と呼ばれている。FIスキャラップはネズミやハトをはじめとしてヒトを含む多くの動物種に共通に観察されている。この強化スケジュールで長期間にわたって被験体を訓練するとFI間隔時間（FI interval）が強化直後の無反応期（break）とその後の一定の反応頻発期（run）の2段階に分離するようになる。この反応パターンはブレーク・アンド・ラン(break-and-run)† と呼ばれていてハト(Cumming & Schoenfeld, 1958)やネズミ(Sherman, 1959)などで観察されている。FI強化スケジュールの構造とそれに対する反応パタンについてはIV章で詳細に検討することにする。

FI強化スケジュールは，さまざまに変型されて時間弁別行動の研究に用いられている。そのなかで大きな貢献をしたのが，クロック付き定時（FI schedule with added clock）強化スケジュールと呼ばれるものである。通常，FI強化スケジュールでは，その変型も含めて時間経過を知らせる外部刺激手がかりは提示されない。しかしクロック付きFI強化スケジュールでは，棒の回転角度の変化といった視覚的手がかりや，周波数の変化のような聴覚的手がかりに“時

† ブレーク・アンド・ラン現象について最初に言及したのはSkinner（1938）であり，FI強化スケジュールで現われる反応パタンの基本型ををブレーク・アンド・ランとみなす考え方はSchneider(1969)やSchullら（1972）によるさまざまな実験で支持された。

計"の機能をもたせて被験体に対して時間の経過を知らせている(Ferster & Zimmerman, 1963)。この場合の累積反応曲線は，通常のFI強化スケジュールによる訓練の場合よりも急速にFIスキャラップやブレーク・アンド・ラン現象が現われるのが一般的である（Ferster & Skinner, 1958)。このことから，動物が時間経過を"時計"の進行の程度によって判断しているように思われる。クロック刺激の提示順序を逆にする（たとえば，棒の回転の場合は回転の方向を逆にする）と，急激な反応の増加とその後の反応休止というそれまでとは逆の反応パタンが現われる。このことから，クロック刺激はヒトにおける腕時計などと同様に，反応遂行の機構を強力に統制する外部刺激として充分に機能していると考えられている。

クロック付きFI強化スケジュールにおけるクロック刺激は，被験体の行動いかんにかかわらず提示されるのが一般的だが，被験体が梃子押しなどの反応をしたときにだけクロック刺激も附随して提示される手続もある（Segal, 1962; Hendry & Dillow, 1966; Kendall, 1972)。Segal (1962) はハトを被験体として，クロックが反応に依存せずにいつも提示されている群と反応したときにだけ自動的に提示される群を比較し，反応依存提示群の方がFI間隔時間の3／4までの時間における反応数が少ないという結果を得た。Segalはこの結果を，FI間隔時間初期のクロック刺激の提示は嫌悪性をもつためだと解釈した。HendryとDillow (1966) はFI強化スケジュール用のキーと，クロック刺激を提示させるための観察反応用キーを別々に設けた。この手続きのもとで強化を得るためには，クロック刺激を参照する必要はないので観察反応用のキーに対する反応は必要条件ではない。それにもかかわらず観察反応用のキーに対する反応が生起することから，かれらはそのロック刺激は条件性強化の作用をもつと考えた。Kendall(1972) はHendryとDillow (1966) と同様な2キーの手続きを用いて，FI強化スケジュールにおけるクロック刺激が嫌悪性をもつのか条件性の性質をもつのかを検討した。ハトを被験体としたが，FI 3分のFI間隔時間が1分ずつ3段階に区切られ，第1条件ではクロック刺激の色が3段階でそれぞれ変化し，第2条件では3段階目のクロック刺激の提示が行われず，第3条件では1～2段階目のクロック刺激の提示が行われなかった。Segalの嫌悪説にしたがうなら，1～2段階目のクロック刺激は観察反応に影響を与えることになるが，実際には1～2段階目のクロック刺激が除去されても観察反応は増加しないが，3段階目のクロック刺激が除去されると観察反応が生じなくなった。このことから，Kendallは条件性強化説が支持されると結論した。

クロック付きFI強化スケジュールのほかにも，変型されたさまざまなFI強化スケジュールがある。たとえば，強化可能時間後一定時間内で反応が生じないと，FI間隔時間が再設定される最小最大定時間隔（fixed-minimax interval: FMMI）スケジュール（Gollub, 1964)，強化可能時間になると同時につぎの試行の設定時間が計測され始める平均定時(fixed-mean-interval: FMeanI)強化スケジュール(Dews, 1970)，強化ののちつぎの試行が始まるまでの時間に，操作体の作動を停止させたり実験箱の照明を消灯する手続き† を組み込んだ試行型定時（discrete

† この手続きはタイムアウト（time out）や試行間間隔（intertrial interval: ITI）と呼ばれている。

trial FI : DT-FI)強化スケジュールなどがあり，さまざまな時間弁別行動の研究に対応してそれらが選択的に採用されている。

もう1つの代表的な時間強化スケジュールは，限時(fixed time : FT)スケジュールである。この強化スケジュールは，被験体の反応の有無にかかわらず一定時間ごとに餌などの“強化”（誘因）刺激が提示される手続きである。反応と“強化”が随伴性をもたない点で，強化スケジュールというよりも古典条件づけにおける時間条件づけに類似した手続きであると考えられる。この手続きでは，FI強化スケジュールの場合と同様に，“強化”時間が近づくにつれて梃子押しなどの所定の反応が増加してスキャラップ状の反応パタンが現われる。さらに“強化”時間間隔中にみられる行動はつぎのように分化する。FI間隔時間の始めには中間行動(interim behavior)† と呼ばれる探索行動などの移動活動が行われる傾向が強いが，強化可能時間が近づくと終結行動（terminal behavior）と呼ばれる餌皿への接近行動などの“強化”刺激を得ることを目的とした行動が優勢になってくる（Staddon, 1977 ; Killeen, 1975)。ある種類の強化スケジュールを適用することによって生じる，強化刺激を得るための反応以外のこのような行動は，スケジュール誘導性行動(schedule-induced behavior)とも呼ばれており，FTスケジュールなどの一定間隔で“強化”刺激が与えられる事態でよく発達する。このような反応の分化はFTスケジュールだけでなく，FI強化スケジュールやDRLスケジュールでもよく発達することが報告されている(Staddon & Frank, 1975)。AndersonとShettleworth(1977)は，オープンフィールド装置内の一部に梃子を装着し，スキナー箱のような機能をもたせてハムスターでFI強化スケジュールのさいの行動を観察したところ，FI間隔時間の初期には歩いたり，臭いをかいだりする中間行動が多くみられたが，強化可能時間の直前には梃子の取り付けられているパネルを押す終結行動が優勢となったことを報告している。

2－2－b　時間分化（temporal differential）強化スケジュール

分化強化とは，たとえば反応と反応のあいだの時間，反応の持続時間，反応の強さ（たとえ

† FTやFIやDRLなどの強化スケジュールで現われる定型的行動パタンは並行(collatelal)行動(Bruner & Revusky, 1961)，迷信(superstitious)行動(Herrnstein, 1966)，仲介(mediating)行動(Segal-Rechtschaffen, 1963)，スケジュール誘導性（schedule-induced）行動（Staddon, 1977）などと呼ばれていて，時間弁別に重要な役割をもっていると考えられている。これらの用語は，特定の強化スケジュールの適用場面で現われるほぼ同一と思われる行動に対して使われるが，微妙な使い分けもされることがある。平行行動とはDRLスケジュールで反応操作体に対する所定の反応以外の行動について付けられた名前である。迷信行動とはおもにFTスケジュールにおける定型的な行動連鎖に対して与えられた用語である。仲介行動とは，オペラント行動であろうとその他の行動であろうと，強化間隔時間内に行われたすべての行動に対して用いられ，それがそのときの強化スケジュールにおける適応的行動の形成を“仲介”しているものと考えられている。スケジュール誘導性行動は所定のオペラント反応を含めたすべての行動に対して与えられた名前であり，このスケジュール誘導性行動はさらに，強化間隔時間内の初期や中間期に見られやすい特定の定型的行動である中間行動（interim behavior）と，末期に見られやすいそれとは異なった種類の定型的行動で強化刺激の獲得と関連性をもつ終結行動（terminal behavior）に分けられる。

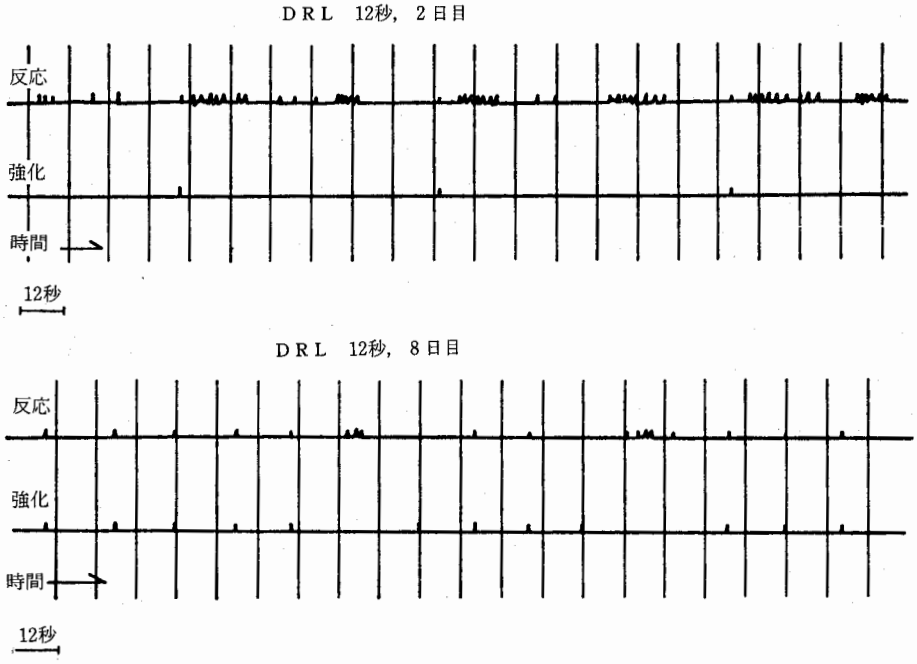


図2　イベント・レコーダーによるあるネズミの DRL12 における反応パタン
上段は DRL12 に入って 2 日目のもので，この記録部分（3 分40秒間）では 3 反応が強化されたにすぎないが，下段の 8 日目では反応は低頻度化して同一時間に12反応が強化されている。強化反応のすぐあとの非強化反応はかなり長い IRT をもつが，その直後に短い IRT をもつ非強化反応が続発している（岩本，1984）。

ば梃子を押すときの力）などが，ある範囲内にあるときにはかならず強化されるという手続きである。この種の手続きを用いた時間分化強化スケジュールでは，実験者はあらかじめ強化時間を設定しておく必要がある。つぎにその代表的な強化スケジュールを紹介する。

時間分化強化スケジュールの代表的なものとして，低頻度分化強化（differential reinforcement of low rates: DRL）スケジュールがあげられる。DRL スケジュールでは，直前の反応からある一定時間以上へだたった反応に対して強化刺激が与えられる手続きである。その一定時間以内に反応すると強化されずそれまでの待ち時間はリセットされてゼロとなり，あらためてまたその設定時間の計測が開始される（図 2）。

DRL スケジュールも研究目的に対応し変容されて，さまざまな変型が作られている。たとえば，強化されるのに必要な時間帯の上限が設定されている制限時間付き DRL（DRL／LH: limited hold）スケジュールや，引き込み型梃子などを反応操作体として用い，反応後に一定時間の試行間間隔が挿入される試行型 DRL（discrete trial DRL: DT-DRL）スケジュールがある。さらに，2 つの反応操作体が設けられ，一方の反応操作体は DRL の設定時間をスタートさせ，もう一方の反応操作体は強化を得るための所定の反応のためにだけ使われる最小間隔固定（fixed-minimum-interval: FMI）強化スケジュール（Mechner & Guevrekian, 1962）があ

る。この強化スケジュールは2反応型（two responses）DRLスケジュールとも呼ばれている（Richelle & Lejeune, 1980）。FMI強化スケジュールは，強化スケジュールの設定時間開始用の反応と強化を得るための反応を分離して，反応時間間隔（interresponse time：IRT）の構成要素が摂食などの完了反応の有無によって異なってくることを回避するための強化スケジュールである。古典型のDRLスケジュールや以上に紹介した変型DRLスケジュールでは，被験体の反応によって強化設定時間についての計測が始まるが，タイム・アウトやブラック・アウトなどの外部事象の変化によって設定時間をスタートさせることも可能である。このような試行型のDRLスケジュールは長潜時分化強化（differential reinforcement of long latency：DRLL）スケジュール，または反応潜時分化強化（differential reinforcement of response

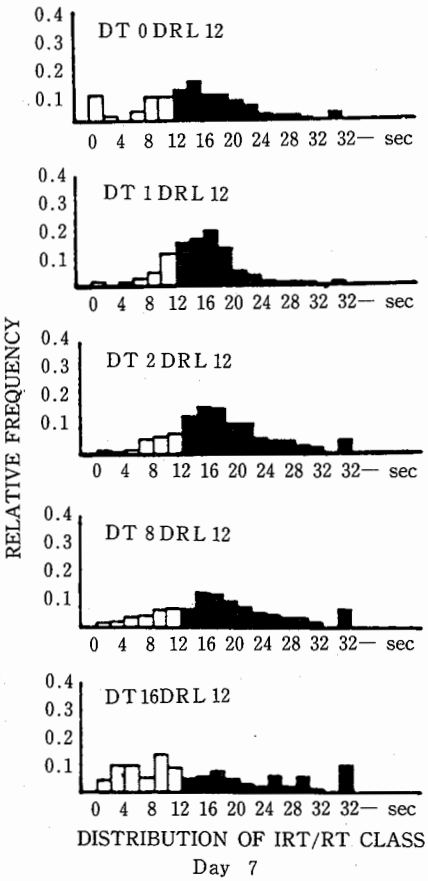


図3　引込み型梃子を用い，引込み時間によるIRT/RTの分布を示したもの
黒く塗りつぶされた部分は強化されたIRT/RTを示している。DTが0秒，つまり引込まない条件では0秒～2秒のIRTをもつ反応が多いが，DTが1秒，2秒，8秒の条件ではこの部分に相当するRTが抑制されている。DTが16秒の条件ではDRL12秒の学習そのものが他の条件に比して進行していない。個体数はいずれも6（岩本，1981）。

latency : DRRL) スケジュールと呼ばれている。

DRL スケジュールでは，通常バースト反応と呼ばれる 1 秒以下の IRT をもつ非強化反応が生じやすい。ところが 2 反応型 DRL スケジュール，DT-DRL スケジュール，DRLL スケジュールなどではバースト反応が激減することが知られている。Blackman (1970) によると，ネズミを被験体として 2 反応型 DRL スケジュールでスタート用の梃子を押すと聴覚刺激が提示され強化用の梃子を押すとその聴覚刺激が停止されるようにしたところ，バースト反応の低下が著しかった。岩本（1981）によれば岩本と大久（1974）は 12 秒の DT-DRL スケジュールで ITI を 0，1，2，8，16 秒に設定してネズミを訓練したところ，ITI が 1 秒から 8 秒までの条件ではバースト反応などの比較的短い IRT をもつ反応が減少した（図 3）という。

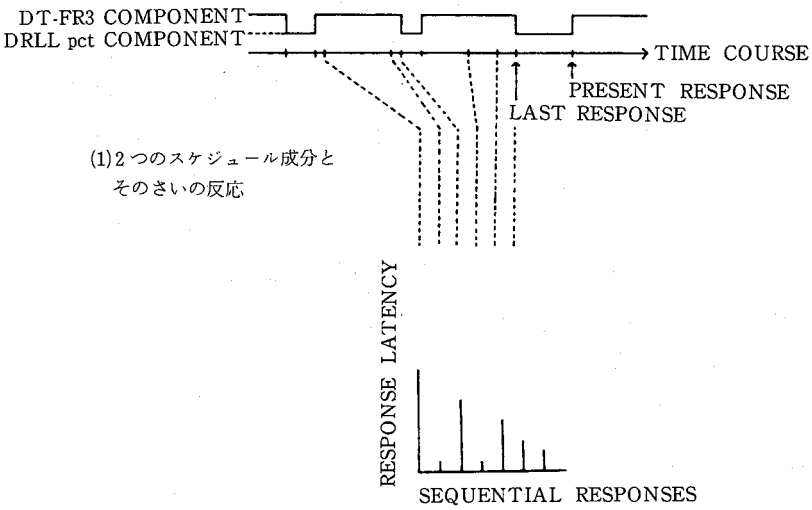
DRL スケジュールでは，被験体がある反応とつぎの反応との時間間隔中に，強化を得るためのオペラント反応以外の活動を行っていることが多い。DRL スケジュールでは，そのような活動が一連の定型的な行動連鎖になっていることが多く，その行動連鎖が梃子押しやキーつつきなどの所定の反応の生起を統制していると解釈できるところから，このような行動は仲介行動と呼ばれることもある。仲介行動については第III章でくわしく述べる。

もう 1 つの代表的な時間分化条件づけは，反応持続時間分化強化(differential reinforcement of response duration : DRRD) スケジュールである。この手続きは，待ち行動 (waiting) 強化スケジュールまたは反応潜時(response latency)強化スケジュールとも呼ばれ，ある所定の反応（たとえば，梃子押し，キーつつきなど）を持続させ，その時間があらかじめ実験者の設定した基準時間を超えてその反応が終了した（たとえば梃子を離す）ときに強化刺激が提示されるという強化スケジュールである(Blough, 1958 ; Stevenson & Clayton, 1970)。DRL スケジュールで強化刺激の提示を受けるためには一定時間だけある反応をしないで待ち，ついでその反応をするのに対して，DRRD スケジュールでは所定の反応をし続けて待ち，ついでその反応を終了しなければならない。そのため，DRRD スケジュールではあらかじめ設定された操作体に対する反応以外の行動が制限され，課題に対する注意の統制がより厳密であると考えられる。そのため DRL スケジュールなどで現われるような仲介行動が生起する可能性は少なく，そこで適用されている強化スケジュールが直接要求していない行動によって時間弁別行動が仲介される可能性を取り除くのに有効な強化スケジュールである。しかし，それだけにこの強化スケジュールによる時間弁別行動の形成は困難で，被験体がネズミの場合では設定された持続時間がわずか数秒程度であっても，その設定時間よりもはるかに短い持続時間しかもたない誤反応が生じ続けることが示されている (Kuch, 1974 ; Skinner, 1938)。Skinner (1938) の実験におけるネズミたちは，その設定時間と同一の長さの聴覚刺激を梃子押し反応とともに提示することによってやっと持続反応を形成できた。DRRD スケジュールも DRL スケジュールと同様に，反応の自発と抑制という相反する拮抗状態を生じさせる。そのため，DRRD スケジュールにおける短い持続時間をもった誤反応は時間弁別行動にともなう純粋の誤反応というよりも，DRL

スケジュールにおけるバースト反応と同様な情動的な要因による誤反応であるとみなせるだろう。

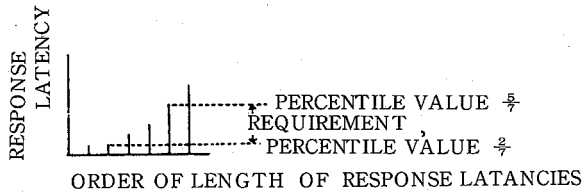
2－2－c　反応依存変容型分化強化スケジュール

岩本ら（1984）は時間についての分化強化スケジュールではあるが強化のための基準時間が固定されておらず，じっさいに生起した反応のIRT／RTによってそれが可変する強化スケジュールを，反応依存型分化強化（differential reinforcement on sampled responses distribution：



(1)2つのスケジュール成分とそのさいの反応

(2)たとえばサンプルサイズが6のときは反応は生起順にこのように記憶されている。



(3)この6ケの反応は強化の指標となる特性（この場合は反応潜時）の順序にしたがって並べ直される。この図の中央部分がこの場合では強化されるが，その反応潜時は被験体の反応によって変動する。

(4)Y軸に反応の相対頻度，X軸に反応潜時をとって表示し直してみたもの。黒く塗りつぶされた部分が強化された反応である。

図4　chain DT-FR3 DRLL pct schedule（吉野・川俣・岩本，1980）における強化手続き

DRSRD)スケジュールと総称した。この強化スケジュールでは，被験体の反応のIRT／RTはつぎつぎにコンピュータのメモリー内にあらかじめ設定された個数だけ順次記憶され，その平均値などの代表値によって算出され強化可能時間は時時刻刻と変動する。したがってメモリーサイズの大きさによって強化可能時間の変動の速さが異なることになる。

岩本らはこの強化スケジュールに属するものとして，Platt(1973)のパーセンタイル(percentile : PCT)強化スケジュール，Blough(1966)の最小頻度(least frequency : LF)強化スケジュール，川俣ら（1975）の相対間隔分化強化（differential reinforcement of relative intervals ; DRRI）スケジュール，WeissとLatties（1965）の自己回帰（auto-regression ; ARG）強化スケジュール，Weiss（1969）の滴定（titration : TR）強化スケジュールの5種類をあげた。一般的なDRSRDスケジュールにおいては，被験体の反応傾向を直接的に制御する要因は，いまおこなわれた反応がメモリー内のサンプル集団においてどのような相対的位置を占めるかである。これらの強化スケジュールを適用すれば，被験体の反応をしだいに実験者の意図する方向へと変容させることが容易となる（図4)。また強化可能時間は直前の反応（群）に依存して可変するため，仲介行動が形成される可能性はすくない。

2－2－d　回避条件づけ

Hineline(1977)によるとオペラント条件による回避条件づけのなかで時間弁別を必要とするものは，ショック遅延手続き(shock delay procedure)とショック除去手続き(shock deletion procedure) に分類される。ショック遅延手続きの典型例は，シドマン型回避条件づけである（Sidman, 1953)。この手続きには2つの時間変数が含まれていて，ショック•ショック間隔(S-S間隔）と反応ーショック間隔（R-S間隔）である。被験体が所定の反応をしなければ，S-S間隔で電気ショックが与えられるが，所定の反応をするとつぎに生じる予定の電気ショックの到来がR-S間隔だけ遅延される。この手続きで訓練すると，電気ショックが与えられる時間の直前になると電気ショックを回避するための所定の反応が自発されるようになる。ショック除去手続きは，やはりSidman（1966）により固定サイクル手続（fixed-cycle procedure）として紹介されたものである。この手続きで設定されている時間変数はS-S間隔だけであり，反応はつぎに与えられる電気ショックを除去するが，電気ショックのサイクルそのものには影響を与えない。すなわちSidman 型回避条件づけでは，反応から電気ショックまでの時間がR-S間隔として定められているが，ショック除去手続きでは反応から電気ショックまでの時間間隔は不定である。

3．これらの研究法によって得られた時間弁別行動の結果

さてこれまでのこの章では，動物の時間弁別の研究に使われるさまざまな手続きを述べてきたが，つぎにそれぞれの手続きのもとで現われる時間弁別行動の特徴を検討する。この章の以下の部分では，時間弁別行動の研究に比較的よく用いられているオペラント条件づけにおける

時間条件づけと時間分化条件づけに焦点をあてる。それぞれの条件づけのなかで代表的なものは，FI強化スケジュールとDRLスケジュールによるものである。この2つの強化スケジュールでは，時間弁別が可能な設定時間に大きな差異がある。

実験室で用いられているほとんどの被験体にとって，1分を越えるような大きな値のDRLスケジュールで時間弁別を行うのは困難である。たとえば，ハトはDRLスケジュールの値が20秒以上だと時間弁別の成績が低下する（Holz & Azrin, 1963；Holz *et al*., 1963；Kramer & Rilling, 1969；Reynolds, 1964 a；Reynolds, 1964 b；Reynolds & Limpo, 1968；Skinner & Morse, 1958；Staddon, 1965)。比較的よくできるネズミ（Ferraro *et al*., 1965)，サル（Hodos *et al*., 1962；Weiss *et al*., 1966)，ネコ(Macar *et al*., 1976)などでさえ，せいぜい40～60秒が時間弁別が可能な上限である。このような実験室事態では，ヒトの成績もあまりよくない。吉野と岩本(1979)や吉野ら（1980）は動物実験に用いられた実験的配置とできるだけ類似した条件下で，ヒト（大学生）を被験体としてDRLケジュールのもとでの行動をネズミのそれと比較した。被験者は2群に分けられ，一方の群は多重(mult)DRL 4／LH 4　DRL 12／LH 8スケジュールで訓練され，他の一群は混合(mix)DRL 4／LH 4　DR12／LH 8スケジュールで訓練された。その結果，強化スケジュールを正しく推定したヒトは少なく，まったくの迷信行動を示したヒトもあり，その被験者のIRT時系列はネズミでみられるそれときわめて類似していた。

DRLスケジュールではバースト反応が現われ，IRT分布図における相対反応頻度が2秒以下とDRL時間の2カ所に集中して双峰性となり，結果の分析を困難にさせることがある。RichardsonとLoughead(1974)よれば，ネズミとハトにDRLスケジュールで強化可能時間を試みに1分から45分へとしだいに値を大きくして訓練したところ，ネズミではDRLの値がこのように極端に大きくなってもバースト反応の頻度はそれほど変化しなかったが，ハトの場合では増加した。また，長い期間にわたってDRLスケジュールを訓練すると設定値に近いIRTをもつ反応はしだいに増加するが，それでもバースト反応はいっこうに消滅せずに生じ続けることが知られている（Kramer & Rilling, 1970)。このようなことからも，1秒以下のIRTの分布は，強化設定時間から般化したものとは考えられず，時間弁別以外の要因によって生じた分布であることが推測される。

一方，FI強化スケジュールでは，FIの値を10分に設定してもネズミでもハトでもFIスキャラップが観察でき，DRLスケジュールの場合とは時間弁別が可能な設定時間の単位がまったく異なっている。しかも，FIスキャラップは広範囲のさまざまな動物種で共通して現われる。よく知られているネズミやハト以外の動物種に対してもFI強化スケジュールのもとでの行動が観察されている。その動物種のなかには，霊長類(チンパンジー，ヒヒ，アカゲザル)，さまざまな哺乳類（アライグマ，イヌ，ウマ，ハムスター，モルモット，ウサギ，コウモリ)，鳥類（ニワトリ，インコ，ハゲタカ，カラス，ウズラ)，3種類の魚類(テラピア，グラミー，キンギョ)，

1種類の昆虫（ミツバチ）が含まれている（表1)。これらの動物のなかで，スキャラップ反応パタンが生じないとされているのはわずかにウズラとテラピアとミツバチだけであると報告されている(表1)。ヒトは霊長類であるがFI強化スケジュールにおける行動はその他の霊長類とは異なってFIスキャラップは生じないことも多く，通常はVIの場合と類似の定常的高反応頻度を示すか，FI間隔時間の経過後に1〜2回の反応を示して強化刺激の提示を受けるといったタイプに分かれることが多い。

それではなぜFI強化スケジュールよりもDRLスケジュールでは時間間隔についての弁別が困難なのだろうか。たとえば90秒のFI強化スケジュールでは1分程度の反応休止がみられるようになった被験体に対して，DRLスケジュールを訓練してもせいぜい20秒程度しか時間弁別が行えないのはなぜだろうか。両強化スケジュールには第1に，「誤反応によって強化が遅延されるか否か」という差異がある。DRLスケジュールのような「誤反応によって強化が遅延される」事態では，FI強化スケジュールとは異なって，被験体は所定の反応を自発する必要性と

表1　さまざまな動物種におけるＦＩ強化スケジュール

動物種（学名）	研究者	強化スケジュール	実験場面
チンパンジー	Byrd(1975)	mult FI 10分 FR 30	梃子押し、morphine投与
ヒヒ	Byrd(1975)	mult FI 10分 FR 30	梃子押し、morphine投与
アカゲサル	Dews(1978)	mult FR 50 FI 1000秒	サル用スキナー箱
リスザル	Morse & Kelleher(1971)	FI 5分	
プレーリー犬 *(Cynomys ludovicianus)*	Todd & Cogan(1978)	FI 30,45,60,90,120秒	スキナー箱で梃子押し
ビーグル犬	Waller(1961)	mult FI 3分 FR50	鼻で梃子の持ち上げ
ウマ	Myers & Meskers(1960)	FI 3分	
ハムスター *(Mesocricetus auratus)*	Anderson & Shettleworth (1977)	FI 3分	オープンフィールド内での梃子押し
ウサギ	Rubin & Brown(1969)	FI 10,20,30秒	
コウモリ *(Phyllostomus hastatus)*	Beecher(1971)	FI 50,100秒	ハト用キー押し
ニワトリ	Lane(1961)	mult FI 2分 EXT	ハト用スキナー箱、キー押しと鳴き声
	Marley & Morse(1966)	mult FR 30 FI 3分	キー押し、生後3日から
インコ *(Melopsittacus undulatus)*	Ginsburg(1960)	FI 30,60,120秒	オペラント反応は発声
ハゲタカ	Witoslawski & Anderson(1963)	FI 5分	
カラス	Powell(1972)	FI 1,2,4分	
(Corvus cryp to leucus)	Haney et al.(1971)	FI 4分	
ウズラ *(Coturnix coturnix japonica)*	Cloar & Melvin(1968)	FI 1分	
(Coturnix coturnix)	Reese & Reese(1962)	FI 15,30,60秒	キー押し、FI60秒では1試行あたり1.4反応
テラピア *(Tilapia macrocephala)*	Eskin & Bitterman(1960)	FI 1,2,4分	ターゲットつつき
(Tilapia macrocephala)	Gonzalez et al.(1962)	FI 1分	ターゲットつつき、FIとVIで成績に差がなかった
グラミー	Wolf & Bear(1963)	FI 10,20分	
キンギョ *(Carassius auratus)*	Rozin(1965)	FI 1分	梃子押し
ミツバチ *(Apis mellifera)*	Grossman(1973)	FI 20,30分	管の中の蜜なめ

その反応を抑制する必要性という，相反する行動が同時に要請されている(Iwamoto, 1981；岩本，1981)。このような拮抗する反応傾向のもとでは，誤反応は強化の遅延という罰事象を招来するために情動的な反応が生じやすいことが想像される（Amsel, 1958)。岩本はこのようなことがバースト反応を出現させる要因の1つになっていると考え，DT-DRL や DRLL などの試行型 DRL スケジュールにおいてバースト反応がほとんどみられないという現象は，非強化反応にともなう情動の喚起が ITI 中に急速に収束するためであると仮定した。

FI 強化スケジュールと DRL スケジュールの第2の相違点は，時間間隔が強化の提示といった外部刺激で構成されるのか，自発反応のような内部刺激で構成されるのかにある。FI 強化スケジュールでは非強化反応（誤反応）であっても強化を遅延させることはないので反応のコストは低いために反応は頻発し，被験体はこれらの反応に随伴して触発される内部／外部刺激から構成されている強化時間間隔についての弁別行動を構成する。一方，DRL スケジュールでは非強化反応は強化を遅延させることになり反応のコストは高いために反応は低頻度化し，時間間隔についての弁別行動は被験体に自発する各種の活動に附随して発生する内部刺激のみによって構成されることになる。

4．時間弁別行動と生物学的制約の相互作用

弁別行動に被験体の種間の差が生じる原因はどこにあるのだろうか。FI 強化スケジュールや DRL スケジュールでは所定の反応によって食物などを得ることを学習するので，種によって異なる動物の食物獲得形態がこれらの強化スケジュールを遂行する行動に反映する可能性がある。

このことは，Breland 夫妻によるオペラント条件づけでの失敗例から示唆される。Breland と Breland (1961) は〝見せ物〟に出すためにさまざまな動物を調教するのにオペラント条件づけを用いたが，ある場面で動物たちがこのような学習を習得したあとに，一度も強化されていない行動を自発し，しかもそのような強化反応から逸脱した行動を強固に持続する現象を報告している。そのような逸脱行動として，ニワトリにおけるボールを打って一塁ベースへ走るかわりにボールをつつくという行動や，アライグマにおける硬貨を箱に入れると餌が与えられるという学習場面での硬貨のこすり合わせ動作，ブタにおける硬貨を箱に入れると餌が与えられるという学習場面での硬貨の放り投げと地面の掘り起こし行動が報告されている。これらの逸脱行動は，ニワトリの場合は餌としての植物の種の殻を破る行動や昆虫を殺す行動に形態的に類似していて，アライグマでは餌としてのザリガニの殻をむく行動に似ていた。ブタの行動は，自然状態において餌を獲得するというときに行う一連の行動の一部とよく似ていた。このようなことから，被験体が食物を得るために行動を自発することが必要なオペラント条件づけ場面で，しかも，動機づけが食事制限などによって高まっている状況では，その種に特有の食物獲得行動が生じやすく，そのような現象はその種が生得的にもっている生物学的制約(biological constraint）に基づく本能的逸脱（instinctive drift）によるものであると示唆した。

このBreland夫妻の知見から，ハトとネズミで時間弁別が可能なDRLスケジュールの値に大きな差異がある理由が推測できる。FI強化スケジュールやDRLスケジュールで要求される所定の反応は，ハトではキーつつき，ネズミでは梃子押しであることが多い。ネズミの梃子押し反応が自然場面における食物獲得行動とはそれほど関係ないのに対して，ハトのキーつつきは同一である。ハトの場合には，自然場面での食物獲得行動である頻繁なつつき行動と，DRLスケジュールで要求される時間間隔をおいた反応とが拮抗しあい，そのためネズミにくらべ比較的短い時間のDRLスケジュールしかできないと考えることができる。

時間弁別を研究する手続きの差異や動物種の相違によって時間弁別行動の成績に良否が生じる原因について，RichelleとLejeune（1980）はつぎの3つの仮説を提案している。

第1の仮説は，進化仮説(evolutionary hypothesis)と名付けられ，動物の進化と尺度(evolutionary hierarchy)上で上位にある種ほど時間弁別の機能が発達しているという仮説である。この仮説を支持する事実としてPowell (1974) によるハトとカラスを被験体とした時間弁別行動の比較実験があげられている。Powellは厳密に条件を揃えてハトとカラスにDRLスケジュールを訓練した。その結果，カラスはDRLスケジュールの値が120秒まで時間弁別が可能であったが，ハトではせいぜい10秒程度までしかできなかった。つぎに，そのハトとカラスに対して外部的なクロックのついたDRLスケジュールを訓練したところ，ハトもカラスと同様に120秒まで時間弁別が可能になった。RichelleとLejeune(1980)はこのような実験事実から，ハトよりも進化している(？)カラスは，ハトに備わっていない時間弁別の能力があると述べている。

第2の仮説は，還元主義者仮説(reductionist hypothesis)と呼ばれている。この仮説は，進化仮説とは対照的に，動物やヒトには共通の時間知覚能力が生得的に備わっていると仮定している。それにもかかわらず時間弁別行動に種差が生じる理由は，反応抑制機能や内部・外部刺激の受容能力などに種差があると考え，それらが時間弁別の結果をつぎの行動の解発にフィードバックする段階に差異をもたらすと推定している。

第3の仮説はエソロジー仮説（ethological hypothesis）といい，Breland夫妻による種に特有の食物獲得行動の場合の分析と根本的におなじ考えを提案している。この仮説では，ある場面において出現しやすい反応と出現しにくい反応とがあると考える。つまりある種ではある場面においてそれと対応して反応レパートリーに階層構造があると仮説している。そして，そのような種に特有な階層構造をもつ反応レパートリーが時間弁別行動という場面にも反映されていると仮定している。そのため，表面的には類似しているようにみえてもある種にとって時間弁別行動が容易に現われる実験事態と現われにくい実験事態があったり，まったく同一の実験事態でも時間弁別行動に種差がでてくると推測している。種に特有の反応レパートリーの階層構造というエソロジー仮説は，上記のDRLスケジュールにおけるハトとネズミの時間弁別行動の結果についての種差の分析にも適用されている。

以上の3つの仮説は，いずれも場面を上述の場面に限定すれば妥当な解釈であろう。しかし

ながら現状では，さまざまな種に対して厳密に統制された比較のための実験が行われてはいない。それゆえどの仮説がもっとも妥当であるかについては，現時点では残念ながら結論することはできない。

時間弁別が可能な時間間隔は動物種や手続きによって差異はあるが，いずれにしてもFI強化スケジュールやDRLスケジュールである設定時間内での時間弁別は可能である。これらの実験事態の一般的特徴は，原則として強化が与えられる時の外部環境の変化は給餌器の作動音などだけであり，被験体には時間の経過を示す直接的な外部手がかり刺激はまったく与えられていないことである。この特徴からFI強化スケジュールやDRLスケジュールにおける時間弁別行動が，内部刺激手がかりによる測時(たとえば生物時計による測時)，あるいは自己受容刺激手がかり（たとえば仲介行動，並行行動や迷信行動）による測時にもとづいている可能性が大きいと考えられる。

そこでつぎの章では，時間弁別行動がどのような過程を通して現われるのかについて，これまでに提案されている時間弁別機構のモデルに焦点をあてて考察する。

Ⅳ　動物とヒトにおける時間弁別機構のモデル

オペラント条件づけにおける代表的な時間強化スケジュールの1つであるFI強化スケジュールでは，被験体がオペラント反応を多発する場合には強化刺激が結果的にはほぼ周期的に提示されることになる。このような周期的な強化刺激の提示の効果は，明確な外部刺激の提示がないFTスケジュールや古典条件づけの時間条件づけ（temporal conditioning）における無条件刺激の提示の場合ではさらに明白であり，このような実験事態のもとでは，学習が進行すると“強化”刺激または無条件刺激の提示時間が近づくにつれて所定のオペラント反応や条件反応（レバー押し，唾液分泌）が加速度的に増加することが知られている（Zeiler, 1968; Pavlov, 1960)。

FI強化スケジュールの訓練中に発達するいわゆるFIスキャラップが，どのような機構によって始発され発達され維持され，そしてブレーク・アンド・ランへと変容していくのかを説明するモデルがこれまで数多く提案されてきた。本論文ではFI強化スケジュールに関するモデルを中心に紹介し，あわせて古典条件づけや，オペラント条件づけのFTスケジュールとDRLスケジュールにおける反応パタンを説明するモデルもいくつか紹介する。これらのモデルの大部分は定性的・記述的モデルであるが，反応パタンを数理的に表現しようと試みる定量的モデルもいくつかある。

1．定性的モデル

まず最初に，古典条件づけにおける時間条件づけとオペラント条件づけにおけるFTスケジュー

ルに関する代表的な定性的モデルを簡単に紹介する。

1－1　時間条件づけについての Pavlov の「刺激の内部強度弁別説」

古典条件づけにおける時間条件づけでは，無条件刺激の提示時間が近づくと被験動物はあたかも無条件刺激が生じることを予期するように，条件反応の生起頻度が高くなりその反応強度も大きくなる傾向が現われる。Pavlov はイヌを被験体とし，無条件刺激として餌を用いて最大で 30 分間までの時間間隔による時間条件づけに成功している（Kimble, 1961)。ネズミの場合では餌の提示を無条件刺激とする 24 時間にも及ぶ時間条件づけも可能であり（Krieger, 1974；Stephan *et al*., 1979；1981)，また昆虫でもミツバチの餌の給餌場所への飛来行動に同様の時間間隔依存性があることがよく知られている（Bünning, 1973)。このような時間条件づけのもとでは，無条件刺激の提示が近づくにつれて条件反応が増大するが，条件刺激となるべき明瞭な外部刺激が提示されないので，このような現象が現われるのは被験体が前回の無条件刺激の提示からの経過時間をなんらかの方法で計測しているからであると考えられる。訓練の進行とともに消化器系，内分泌系などの活動による内因性の変化に対応して条件反応が生じてくるようになるのであろう。つまり，被験体が食物の提示や摂取などによって生じる生理状態をみずから監視し――たとえばホメオスタシス機構など――その状態の変化を手がかりとして時間経過を測定しているものと考えられる。

Pavlov は条件刺激となる特定の外部刺激の提示がない時間条件づけの手続きでも，時間弁別行動（無条件刺激提示への時間的接近にともなう条件反応の強度の増加）が生起することから，条件反応が起こる機構の一部にそれまで考えていた外部受容器からの手がかりに加え，時間に対応する内部受容器からの手がかりにも配慮を行った。さらに，時間判断の基本過程としての生理学的機構には，時間の測定に関係する条件反応の生起メカニズムとして，大脳における興奮系に加えて抑制系も仮定していた（Richelle & Lejeune, 1980）という。

Pavlov は時間条件づけのモデルとして，つぎのような考えを提案した。無条件刺激の提示は内部的な刺激痕跡を生起させるが，その内部刺激痕跡の強度は時間の経過とともに減衰していく。時間条件づけでは無条件刺激は周期的に提示され，無条件刺激が提示されるごとに内部刺激強度はおなじような減衰曲線を描く。時間条件づけが形成されるのは，内部刺激痕跡の強度の減衰に対応して反応の自発を制御する基準値が設定されており，無条件刺激の提示によって生じた内部刺激痕跡の強度がその基準値以下に減衰すると条件反応を生起させるためである。しかし，この考え方では内部刺激痕跡の強度がどのような仕組みで保持されているのか，また，それが時間とともにどのような曲線を描いて減衰するのか，その曲線の減衰率はどのような機構によって決定されるのか，条件反応を生起させる機構の仕組などについては説明されていない。

1－2　FI 強化スケジュールについての Skinner の「反応時間間隔弁別説」

Skinner(1938)は，FI 強化スケジュールにおいて時間弁別行動が形成される決定要因を 2 つあげている。第 1 は，ある強化からつぎの強化までの経過時間の弁別についての要因である。

Skinnerによると，FI強化スケジュールで時間弁別が生じるのは，強化のあとしばらくのあいだは反応がなされても強化が与えられないためである。そのため，この非強化時間帯が反応に対して消去手続きと類似の機能をもつようになる。第2は，IRTと強化刺激提示との関係についての要因である。FI強化スケジュールのような間隔強化スケジュールでは，長いIRTをもった反応ほど強化刺激が随伴する確率が高くなるので，長いIRTをもった反応が分化的に強化されることになる。その結果，しだいに長いIRTをもった反応が自発されやすくなる。

第1の仮説は，FI間隔時間を反応休止期と反応頻発期にわけてそれぞれが別々の強化スケジュールとして機能しているというさまざまなモデルの基礎となった。第2の仮説は，IRTの学習が可能であるということを仮定し，この考えはFI強化スケジュールをIRTの分化強化という視点でから分析するさまざまな研究の基礎となった。しかしながら，第2の仮説については，FI強化スケジュールでは強化刺激の提示とIRTの長さとは直接関係がなく，むしろスキャラップが出現するということは，結果的にはもっとも短いIRTをもつ反応ほど強化を受ける可能性が高くなると考えられる。FI強化スケジュールにおいて強化刺激と関係が深いのは，IRTよりむしろ強化反応時間間隔(interreinforcement time: IR^sT)であるが，IR^sTはDRLスケジュールの場合とは異なってFI強化スケジュールでは強化可能時間になるまえに反応がなされても強化可能時間が変化することはないため，オペラント反応解発の説明原理となりにくいと考えられる。

1－3　FTスケジュールについてのSkinnerの「“迷信行動”説」

FTスケジュールでは，“強化”刺激提示後しばらくと“強化”刺激提示直前の時間帯で，それぞれの被験個体の特有の反応が行われるようになる。たとえば一定時間ごとの“強化”刺激提示直後には実験箱内での移動行動がしだいにさかんに行われ，それが“強化”刺激提示時間が近づくにつれて餌皿の探索などの定型化した行動にとってかわられる。Skinner(1948)はハトを被験体として15秒のFTスケジュールで訓練を行った結果，このような定型的な行動パタンの発達を観察し，その行動が人間の迷信行動と同一の仕組みによって支えられていると考えることもできるとして，それを“迷信行動”と呼んだ。つまり，餌などの誘因の提示直前に自発された反応が，その誘因刺激提示との随伴性を見かけ上もつためにそのような行動の出現頻度を表面的には増大させ，その定型化をもたらしたと考えたのである。

Skinnerにとって時間弁別の仕組みを説明するということは，Hullのような仮説構成概念を用いずに，時間弁別行動をその行動が行われている場面に含まれる強化刺激や反応の相互関係の記述へ置き換えるだけで十分であり，被験体がどのようにして反応と強化との時間関係を“判断”しているのかを説明する必要はない。したがって，FTスケジュールにおける反応パタンに対する“迷信行動”による説明も，この場合には時間弁別がまったく異なる原理による行動によって支えられている可能性を示唆したものである。

1－4　FI強化スケジュールについてのFersterとSkinnerの「反応連鎖仮説（狭義）」

と，Dewsの「反応連鎖仮説（広義）」

反応連鎖仮説(response chaining hypothesis)とは，被験体がみずからの行った梃子押し反応といった所定の反応をみずからが刺激として受け取り，その刺激によってさらにその反応の自発傾向が高まり，その結果，多発したこれらの反応は反応の連鎖となってFI間隔時間を仲介(mediate)する一種の仲介反応を形成し，FIスキャラップが生じるという仮説である(Ferster & Skinner, 1957)。この仮説では，FI間隔時間内は強化刺激を得るための所定の反応(梃子押し反応やキーつつき反応など）といった外部的な自発的活動によって満たされていることになり，そのさいに自発した梃子押し反応やキーつつき反応といった反応の連鎖から時間弁別行動が構成されると考えられている。そしてこの仮説では，ある時点における梃子押し反応の頻度は，その直前のそれらの反応頻度に依存して決定されると仮定している。

しかし，仲介反応を梃子押しやキーつつきといった強化刺激と関連する特定の反応のみに限定するこのFersterとSkinnerの仮説は，Dews（1962）が考案した分節化FI強化スケジュール(segmented FI schedule)のもとでのハトのキーつつき反応の分析によって批判された[†]。Dewsによって用いられた分節化FI 500秒の強化スケジュールとは，50秒間ずつ交互に異なった2種類の弁別刺激を提示してこの500秒間のFI間隔時間を10個に分節化（成分化）するという強化スケジュールであった。2種類の弁別刺激のうち，この強化スケジュールの最後の分節時において，すなわち最後の50秒間の分節において提示される方の刺激は強化刺激が随伴したさいにも提示されていることになるので正刺激と呼ばれ，もう一方の刺激はどの分節においても一度も強化刺激とは関係することがないので負刺激と呼ばれた。このような手続きのもとではFI 500秒の強化スケジュールをとおして正刺激と負刺激の弁別訓練が行われるため，正刺激が提示されている分節のもとでの反応頻度はその分節での強化刺激提示の有無にかかわらずしだいに増大していったが，負刺激が提示されている分節のもとでの反応頻度はその直前の分節における正刺激下における反応頻度に比較するといちじるしく低下した。[††] しかしながら，正刺激が提示される分節だけを取り出してそれを連続させてみると，その反応頻度は通常のFI強化スケジュールのもとで現われるFIスキャラップとほぼ同様の反応パタンを示している(図5)。FersterとSkinnerの提案した，仲介反応として梃子押し反応やキーつつき反応などの特定のもののみに限定する反応連鎖仮説が負刺激が提示されている分節においてもあてはまるとすれば，正刺激が提示される分節における初期の反応頻度はその直前の負刺激の分節における反応頻度によって決定されることになり，したがって通常のFI強化スケジュールで見られるよりもはるかに低い

† Dewsによる反応連鎖説は，Hull(1952)による走路での走行反応を，下位刺激に対する下位反応の連鎖とみなすという考えをもとにしている。Hullは反応連鎖を構成するそれぞれの微視的反応はそれぞれ先行する刺激に対応していて，その刺激が目標反応に時間的，空間的に近づくほど条件づけの量が多くなり，したがって目標に近いほど走行測度が速くなるのだと考えた。

†† しかし，負刺激が提示される分節における反応水準はいつも一定でなく，強化刺激が提示される最後の分節に近づくにつれてしだいに高まっていた。

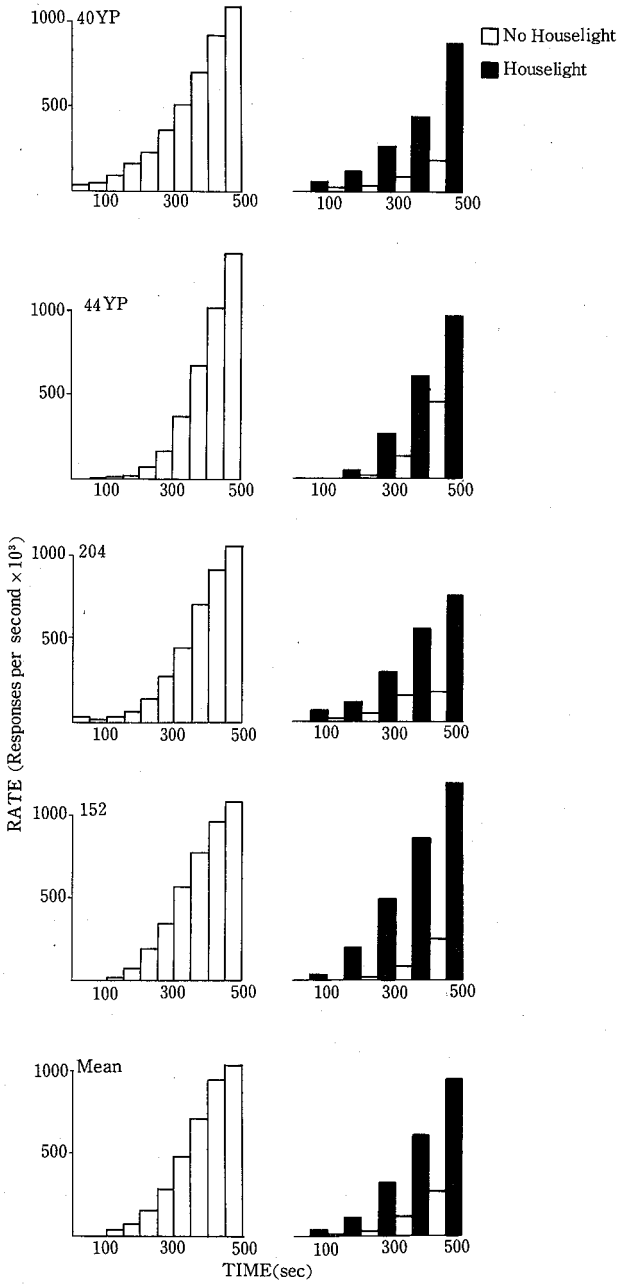


図5　分節化 FI 強化スケジュールにおける反応パタン
左側のパネルは通常の500秒の FI 強化スケジュールにおけるハトの反応頻度を50秒間の bin ごとに示し，右側のパネルは50秒ごとに正と負の弁別刺激が交替して提示される分節化 FI 強化スケジュールの反応頻度を，正刺激のもとでの反応頻度を黒のヒストグラムで示し，負の弁別刺激のもとでの反応頻度を白のヒストグラムで表わす。上の 8 枚のグラフは個体データを示し，最下段の 2 枚グラフはそれらを平均した値を示す。(Dews, 1967)

水準からスタートし，またその曲線の上昇率が小さいFIスキャラップが生じるはずである。ところが実際には通常のFI強化スケジュールで見られるのと同様の反応パタンが現われたので，梃子押しやキーつつきといった強化刺激の提示をもたらすことのある特定の反応の連鎖であってもFIスキャラップの形成に必要な条件ではないと結論できる。このような事実にもとづいて，DewsはFersterとSkinnerの仲介反応として梃子押しやキーつつきなどの特定の反応のみに限定する狭義の反応連鎖説を否定し，あらたに仲介反応としてこれら以外のさまざまな反応をも含めた広義の反応連鎖仮説を提案した。Dewsによる分節化FI強化スケジュールを用いたその後の一連の実験（Dews, 1965 a；Dews, 1965 b；Dews, 1966 a；Dews, 1966 b）はそのことを確証している。

これらのDewsの研究は，狭義と広義の反応連鎖説を注目させるということと，時間弁別の指標として梃子押しやキーつつき反応だけを用いることの妥当性を問題にするということの2つの大きな貢献を行った。このようなDewsの考え方は，のちの研究者に多大な影響を与えた。Logan（1979）やHansonとKilleen（1981）は，仲介反応の定義を通常の行動だけでなく内潜反応（covert response）をも含ませた形にさらに拡張して「内潜的な反応連鎖説」としてかれらのモデルのなかに採用している†。

1－5　FI強化スケジュールに関するDewsの「強化遅延仮説」

Dews(1962)は，FIスキャラップが反応と強化刺激の随伴性によってどのようにして生じるのかについても論じている。FI強化スケジュールでは，強化刺激は強化可能時間に到達してからなされる最初の反応に随伴して提示されるが，強化可能時間に到達する以前になされる非強化反応に対しても遅延時間が挿入されたのちに強化刺激が提示されると解釈することも可能である。かれはFI強化スケジュールにおいて自発される反応と強化刺激提示の関係をこのように捉えなおして，反応連鎖説とは異なる視点からの時間弁別行動の説明も試みた。Dewsによれば，反応と強化刺激提示のあいだの遅延時間が長くなるほどその反応に及ぼす強化刺激提示の反応促進効果が弱められると考えられた。そのため強化までの遅延時間が長いほど，すなわちFI間隔時間内の早い時間帯ほど反応頻度が低いことになる。

この強化の遅延仮説(delay to reinforcement hypothesis)は，被験体はFI間隔時間を弁別しているのではなく，反応から強化までの遅延時間を弁別しているという新しい視点を持ち込んで時間弁別行動の機構を一応は解決している。しかしながら，被験体が長い遅延時間と短い遅延時間をどのような方法によって弁別しているのかという疑問に対しては，この仮説は答えていない。すなわち，強化の遅延仮説はFI間隔時間がどのように弁別されるのかという問題を強化の遅延時間を用いて解決してはいるが，この種の説明では強化の遅延時間がどのようにし

† Loganのモデルでは，直前に刺激記憶痕跡がつぎの刺激記憶痕跡の値を決定している。Dewsにとっては仲介反応とは所定のオペラント反応だけを意味していたが，Loganは仲介反応の概念を刺激記憶痕跡と呼ばれる記憶へと置き換えている。

て弁別されるのかという問題が残ることになる。

1－6　FI強化スケジュールに関するSchneiderの「2状態モデル」

これまでの仮説は，FI強化スケジュール行動の特徴をいわゆるスキャラップ状の反応パタンと規定して述べられたものであるが，CummingとSchoenfeld(1958)はハトを，Sherman(1959)はハトとネズミを用いた実験結果から，FI強化スケジュールで長期間にわたって訓練したときの反応パタンは，反応頻度がしだいに増加していくスキャラップというよりも，途中まで反応がほとんどなくそののちに一定で高頻度の反応が現われるブレーク・アンド・ランであると特徴づけることができると主張した。

FI強化スケジュールの値をさまざまに設定してこの現象を研究したのが，つぎに紹介するSchneider（1969）である。かれは，スキャラップ状の反応パタンはFI時間ごとに単位時間あたりの反応数を加算して平均化してグラフを描いているから見かけ上生じるにすぎないと考え，FI強化スケジュールにおける特異的な行動パタンをスキャラップ状の反応パタンではなくブレーク・アンド・ラン状の反応パタンであるとする2状態モデル（two-state model）という仮説を提案した。

Schneiderはブレーク・アンド・ラン反応パタンの特徴である反応休止期の長さを検討するために，6羽のハトを被験体として16，32，64，128，256，512秒の6種類の値のFI強化スケジュールで訓練を行った。各被験体はそれぞれの値のFI強化スケジュールでラテン方格デザインにしたがって，1セッションあたり55強化で最低39セッションから最高124セッションまで訓練された。そして反応休止期から反応頻発期に切り換わる時点を最小2乗法によって推定したところ，どの条件でも設定されたFI間隔時間の長さの約2／3の時点が切り換え時点であった。

この結果から，かれはFI強化スケジュールの構造について，反応休止期が消去(EXT)スケジュール† に相当し反応頻発期が変時（variable interval：VI）強化スケジュール†† に相当すると考察した。このモデルは2つの異った強化スケジュールが段階的に現われてFI強化スケジュールを構成するとみなしているので2状態モデル（two-state model）と呼ばれている。おなじ時間値のVI強化スケジュールにくらべて，FI強化スケジュールの反応頻発期の反応頻度が高い現象を，SchneiderはEXTスケジュールとFI強化スケジュールから構成される混合(mix) EXT・VI強化スケジュール††† のVI強化スケジュールの成分で見られる反応数の増加と同様の

† EXTスケジュールとは，所定の反応がなされても強化刺激が与えられない手続きである。

†† VI強化スケジュールとは，あるランダムな時間間隔ののちになされた最初の反応に対して強化刺激が与えられる手続きである。

††† 混合（mix）強化スケジュールとは，2種類の強化スケジュールが一定の時間間隔で交互に適用される手続きである。mix強化スケジュールにおいてはどちらの強化スケジュールが行われているのかを示す弁別刺激は提示されない。これに対して，2種類の弁別刺激が異なった強化スケジュールに対応して提示されるのは，多重（mult）強化スケジュールと呼ばれている。

行動対比（behavioral contrast：BC）的効果だと見なした。2状態モデルでは，FI強化スケジュールにおける時間弁別行動とは，EXTスケジュールに対する反応パタンをある時点でVI強化スケジュールに対する反応パタンに切り換える行動であると考えられている。すなわち被験体は切り換え時間を弁別していることになるが，実際に測定された切り換え時間がFI間隔時間の約2／3のあたりであるから，動物はこのような反応パタンをFI強化スケジュールに対する戦略としていることになる†。

FI強化スケジュールには反応休止期と反応頻発期を示すような外部的な手がかり刺激は存在しないので，この仮説では反応休止期から反応頻発期への切り換え行動がどのような内部的刺激によって統制されているのかを説明する必要がある。内部刺激がなににによって統制されているかを考えると，結局“強化刺激提示からの時間”を手がかりとして，切り換えていると結論することができ，2状態モデルは「強化の遅延仮説」と根本的な差異はないと考えられる。

1－7　Churchらの「体内時計仮説」

生体内には一定周期でパルスを発生している時計があると仮定し，そのパルスが計測されることによって測時（timing）が行われるモデルは，一般的にパルスカウント仮説と呼ばれている††。そのパルスカウント説のひとつにChurchとその共同研究者たちによる体内時計(internal clock)仮説がある。かれらは生体内に生物学的な測時機構の存在を仮定して，FI強化スケジュールのような自由反応事態だけでなく，見本刺激時間の弁別といった試行事態をも導入し被験体の時間弁別行動を分析することによって，多様な時間弁別実験で得られた結果を一つのモデルで統一的に理解しようと試みている。かれらの仮定している測時機構はつぎのようなものである。

Churchの共同研究者のひとりであるGibbon(1981)はこの考えを動物のFI強化スケジュールの時間弁別行動や刺激提示時間の弁別行動にあてはめ，時計部と記憶部と反応部の3段階の処理過程からなる一種の情報処理モデルを提案した（図6）。まず，時計部のなかのペースメーカーが規則的なパルス生成し，それをゲート回路に送り出す。ゲート回路は閉じたり開いたりするスイッチの機能をもち，パルスの流入を妨げることによって測時を中断することを可能にする。ゲート回路を通り抜けたパルスはアキュムレータに一時的に蓄えられる。ここまでの処理過程は時計部でなされる。つぎにアキュムレータに蓄えられたパルスは，提示されつつある

---

† 動物の時間強化スケジュールにおける実際の反応パタンを検討すると，一般的なFI強化スケジュールにおいてはこのように強化可能時間約2/3あたりから反応の自発が加速的となる。しかしDRLスケジュールなどでは，そのIRT分布図の最頻値は強化可能時間よりもあきらかにやや遅れたところにある。この相違はこの2つの強化スケジュールにおける反応コストの差を反映している。したがって前者においても，梃子を重くして反応コストを増大させると切り換え時間は遅延し，後者の反応パタンに近づく傾向が見られる。

†† 測時を説明するために時計の概念を持ち込んだのはHoagland(1933)が最初である。かれは仮説的な体内時計として化学的時計（chemical clock）を提案した。

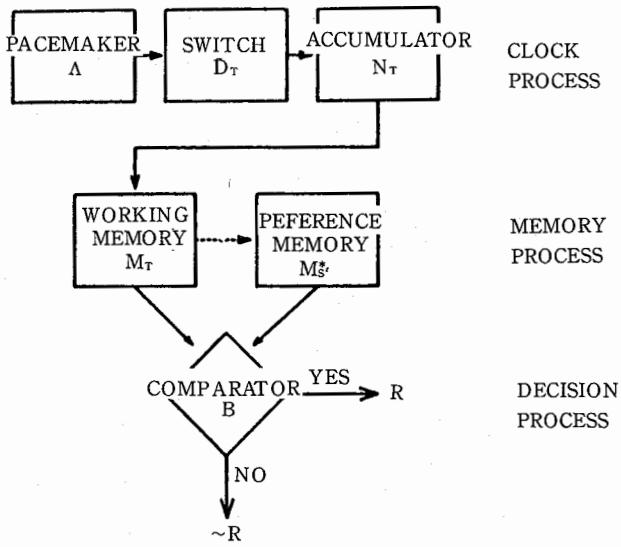


図6　Gibbon の体内時計モデル
上段は時計の過程で，中段は作業（短期）記憶と参照（長期）記憶の過程である。反応決定は下段のようにこの2つの記憶の比較によって行われる。(Gibbon, 1981)。

外部刺激の提示時間や経験しつつある FI 間隔時間について作業記憶(working memory)として記憶部へ送られる。記憶部ではある反応が強化をもたらすならば，そのさいの作業記憶が参照記憶(reference memory)へ転送されてそれまでたくわえられていた古い参照記憶があらたな参照記憶に書き換えられる。かれのこのモデルでは，参照記憶の数はとりあえず最低限必要な1個と仮定されている。反応決定部では現在の時間情報である作業記憶と過去の強化時間についての情報が長期的に記憶されている参照記憶の両者が外部刺激の提示中，あるいは FI 間隔時間の経験中はつねにコンパレータにおいて比較されている。この2つの時間記憶が一致していれば，ある反応規則にしたがって反応装置で反応が解発され，一致していなければ反応は解発されない。すなわち，被験体は FI 強化スケジュールの場合は強化可能時間が近づいたとコンパレータで判断すれば反応し始めることになる。また2種類の刺激提示時間の弁別学習の場合は，より長い時間刺激が提示されたとコンパレータで判断すれば，“長い時間”に対応する反応装置で反応することになる。

この一種の情報処理モデルともいえる仮説を構成する各部分について，Church らは，ネズミを被験体としてさまざまな検討を行っている。Church らの研究の1つの特徴は，その工夫された実験方法である。そこで以下にややくわしく，かれらの用いた実験の手続きを検討してみよう。測時の中枢となる時計部の仕組みについて，物理的時間に対する時計の進行時間の尺度が直線（arithmatic）間隔，対数（logarithmic）間隔，ベキ（power）間隔のどれにあてはまる

かということについてはかれらにおいても以下のような対立する実験結果がある。ChurchとGibbon(1982)は，4秒間のハウスランプの消灯という視覚刺激の提示を正刺激とし，それより長い刺激や短い刺激を負刺激に設定して，提示された視覚刺激を弁別させるという実験を行った。かれらが般化維持手続き(maintained generalization procedure)† と呼んだその実験の第1段階では1秒から16秒までの対数尺度上で等間隔になるような9個の刺激が用いられ，第2段階では0.8秒から7.2秒の直線尺度上で等間隔になるような9個の刺激が用いられた。この実験で用いられた手続きは，ある長さの視覚刺激を提示したあとで，それまで引っ込められていた梃子が提示されるという一種のgo／no-go学習事態であった。反応可能時間は反応があってもなくても5秒間つづいたが，正刺激の提示のさいに反応が生じると強化刺激が提示され，それ以外の場合には強化刺激は提示されなかった。その結果，縦軸に反応頻度をとり横軸に直線尺度をとると正刺激の値を中心として対称的な反応頻度曲線が得られたことから，この実験では時間の心理的関数は直線尺度であると結論された。

一方Roberts(1981)は，試行型定時(DT-FI)強化スケジュール†† を変容させ，頂点手続き(peak procedure)と呼ばれる手続きを用いて実験を行った。頂点手続きとは，たとえばRobertsが用いた40秒の頂点手続きを例にとって説明すると，DT-FI強化スケジュールの試行の80%では通常のFI強化スケジュールと同様に40秒目に強化刺激が用意され(food trial)，残りの20%の試行では強化刺激は用意されずにそのまま80秒間続く(empty trial)という手続きである。反応頻度がもっとも高くなる時間は頂点時間(peak time)と呼ばれ，その時間の反応頻度は頂点頻度(peak rate)と呼ばれた。food trialとempty trialの比率，food trialにおける強化可能時間，empty trialの継続時間は実験の目的によって変更された。試行が開始されてからの経過時間に対する反応頻度を示すグラフは，時間を直線尺度上にとると40秒を中心とした正規分布状の左右対称形になった(図7)。このことからRobertsも経過時間の心理尺度は直線間隔になっていると主張した。

一方，対数尺度を支持する実験結果は，ChurchとDeluty(1977)によって得られた。かれらは2種類の長さの刺激提示に対し左右の梃子のいずれかに反応するようにネズミを訓練したあ

† Blough (1972) は，刺激の般化勾配を求める方法として般化維持手続き (maintained generalization procedure) を考案した。ChurchとGibbon(1982)は，この手続きをネズミを被験体として，見本時間刺激の弁別行動の研究に利用した。たとえばかれらは，試行事態においてハウスランプを消灯させて，0.8秒から7.2秒にわたる長さの見本刺激時間のいずれかを1試行に1度提示した。4秒の消灯時間が正刺激とされ，それより短いかそれより長い消灯時間は負刺激とされた。正刺激が提示されたあとに梃子押し反応をした場合にだけ強化刺激が与えられ，負刺激が提示されたあとの反応や無反応に対しては強化刺激は与えられなかった。この訓練手続きのもとでの刺激分化曲線を，横軸に見本刺激の時間をとり縦軸に反応率（反応数/試行数）をとって描くと正規分布曲線状の分化曲線が描かれた。

†† DT-FI強化スケジュールとは，強化刺激提示ののちつぎの試行が始まるまでの時間に，タイムアウト(time out)や試行間間隔と呼ばれる操作体の作動を停止させたり実験箱の照明を消灯する手続きを組み込んだFI強化スケジュールの変型である。

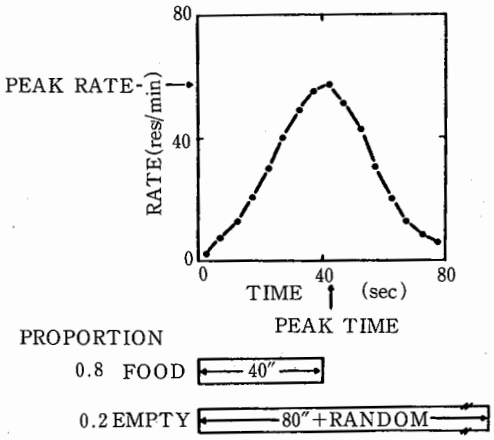


図7　一般的な頂点手続とその結果
頂点手続きとそこで得られる結果の典型例。この例では food trial は40秒間であり，empty trial は80数秒間である。全試行数に占める food trial と empty trial の比率はそれぞれ0.8と0.2である。その手続きのもとで empty trial で得られた結果は40秒付近で反応頻度が最大となる正規分布状の反応頻度関数である。反応頻度が最大になる時点は peak time と呼ばれ，そのさいの反応頻度は peak rate と呼ばれる(Roberts, 1981)。

とに，2種類の刺激の中間の値の刺激をプローブ刺激として提示したさいの2つの梃子への選択行動を分析した（43頁を参照）。その結果，主観的等価値（PSE），すなわちどちらの梃子にも等しい割合で反応する刺激は訓練時の2種類の刺激の対数間隔で中央値になることが明らかになった（図8）。

Meck と Church(1982)はハウスランプの消灯時間という2種類の見本時間刺激の PSE と弁別閾（DL）を求め，2秒間と8秒間の消灯時間の PSE は4.07±0.17秒，DL は0.97±0.14秒という値を得た。この2条件での Weber 比は0.22±0.02となった。PSE は幾何平均であり，対数尺度にあてはまった。

このほかにも体内時計モデルにおける各部分の機能を実験的に分析するさまざまな試みが，ネズミを被験体として行なわれている。たとえばアキュムレータの機能に関して，そこでは時計部からのパルスは加算されているのか，減算されているのか，その加／減算は絶対時間にもとづいて行われるのか，相対時間にもとづいて行われているのかという問題が以下のような手続きで検討された。Roberts と Church(1978)の第3実験では，FI 強化スケジュールが用いられた。ただし FI 間隔時間中にハウスランプという視覚刺激が提示されているときは30秒の FI 強化スケジュールが，白色雑音という聴覚刺激が提示されているときには60秒の FI 強化スケジュー

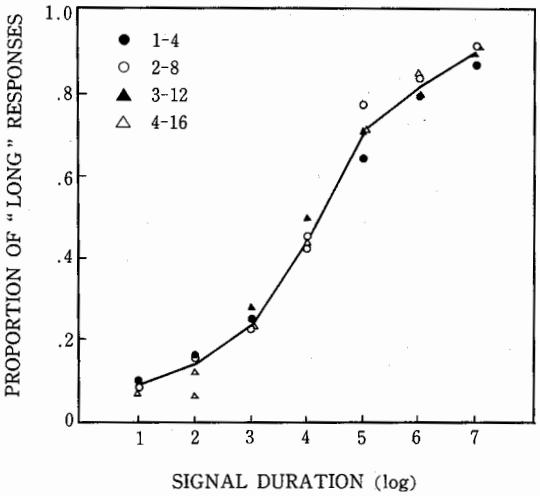


図8　2種類の見本刺激時間の PSE の測定

2種類の長さの基本見本刺激時間（たとえば2秒と8秒）のうち長い方が提示されたときには右の梃子押し反応を強化し，短い方が提示されたときには左の梃子押し反応を強化するという弁別訓練をネズミに行ったあとで，それらの2種類にさらにその中間の長さの5種類の見本時間をプローブ刺激として追加して合計7種類の刺激を提示した場合に，ネズミが提示されたある見本刺激時間に対して，"長い"というカテゴリーに属する反応をした場合を示したもの。2種類の基本見本時間の組合せには，1秒と4秒（●），2秒と8秒（○），3秒と12秒（▲），4秒と16秒（△）の4条件があった。横軸にそれぞれの見本刺激時間の長さを対数に変換して目盛り，縦軸に"長い"という反応をした割合をとれば，どの基本見本刺激時間の組合せでもほとんど同一の曲線が得られ，2種類の見本刺激時間の PSE は対数尺度上でほぼその中央値であることがわかる。この図における実線は，4条件で得られた結果を平均したものである（Church と Deluty, 1977）。

ルが適用された。この2種類の刺激様相についての弁別が可能になり，それぞれの刺激様相のもとではそれに対応する異なった強化後の反応休止時間をもった FI スキャラップが生起するようになったあとでテストを行った。このテストでは FI 間隔時間の開始から，6，12，18，24秒目のいずれかに現在提示されている刺激様相を突然他方のものに変更して，そのさいの反応パタンの変化が分析された。その結果，アキュムレータでは加算が行われていると仮定して横軸を0秒から60秒まで目盛ると，減算が行われていると仮定して60秒から0秒まで目盛った場合よりも変更前と変更後の図の一致性がよいことから，加算が行われていると結論された。また，それぞれの変更時間後の反応パタンについて，横軸を直線尺度の時間にして図示するほう

が横軸を比率尺度の時間にして図示するよりも，それぞれの反応パタンの一致性がよいので，アキュムレータでは比率尺度による加算が行われているのではなく，直線的な加算が行われていると結論された。

体内時計モデルにおいて存在が仮定されているゲート回路の機能のなかにパルスの停止機能があるか否かも検討されている。Roberts と Church(1978)は第1実験で，ネズミに60秒の FI 強化スケジュールを訓練した。そのあとでテストとして，FI 間隔時間の途中で15秒間梃子が引っ込められハウスランプが消え白色雑音が流されるという中断手続き(break procedure)がしばしば組み込まれた。50日間のテストの進行とともに，FI 強化スケジュールの時間の進行が中断手続き中にも続いている群（run 群）の反応パタンは，中断手続き中には停止している群（stop 群）の中断手続きにおける反応を除外した反応パタンときわめて類似するようになった（図9）ことから，ゲート回路はパルスの停止機能をもつことができると結論された。この結論はさらに第2実験によっても支持された。かれらの第2実験では，ネズミに対して2つの梃子が提示されている実験箱で4秒間から22秒間のあいだのいずれかの時間がハウスランプの点灯で提示され，それが12秒間以上であるとたとえば左側の反応が強化され12秒間未満だと右側の反応が強化された。この見本刺激時間選択法の一種と考えられる訓練が完成したあとで，ハウスラ

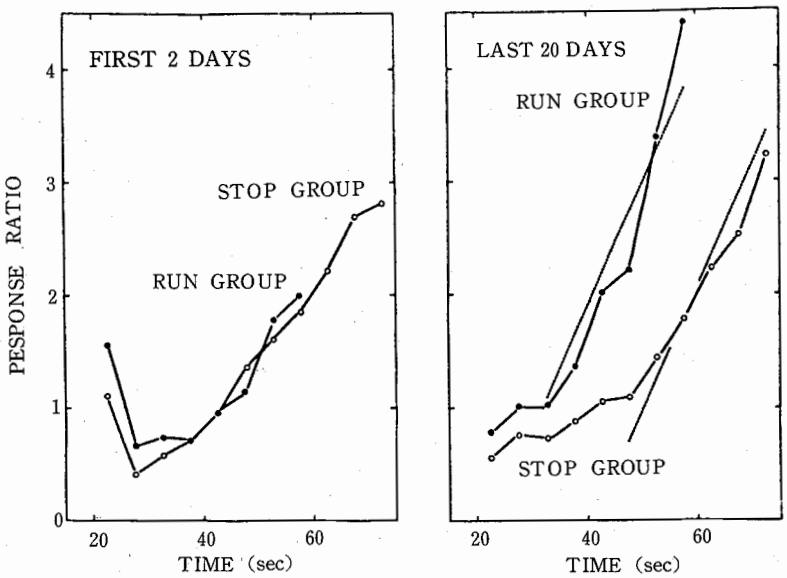


図9　実時間の変化に伴う局所反応率の変化
中断手続きの最中にも FI 強化スケジュールが進行している手続き（run 群）と FI 強化スケジュールの進行が停止している手続き（stop 群）における中断手続き後の反応率（局所反応頻度/全体反応頻度）の変化。2本の直線は5秒間の bin の最後の6点にあてはめられた回帰直線を示す。これらの回帰直線はほぼ平行線を描いていて，run 群よりも stop 群の方が加速度的な局所反応率の増加開始時間が18秒間程度遅くなっていることがわかる（Roberts & Church, 1978)。

ンプが消え白色雑音が提示されるという2秒間の中断手続きが組み込まれるテストが行われた。第1実験と同様にrun群とstop群が設けられた。15日間のテストの成績を平均してその2群の反応パタンを比較すると，run群では中断手続き中にも測時が継続し，stop群では測時が中断していることが示された。

また，視覚刺激と聴覚刺激という異なった刺激様相はそれぞれの刺激様相に対応したそれぞれの時計と記憶部で処理されるのか，それともひとつの時計部と記憶部で処理されるのかといった時計部と記憶部の構造がRoberts(1982)によって検討された。第1実験では，上述の見本刺激時間選択法を用いて，群によってハウスランプの点灯か白色雑音の提示というように視覚的か聴覚的かのどちらかの刺激様相のもとで提示される，1秒間と4秒間の見本刺激時間についての弁別が訓練された。この訓練が完成したあとで，見本刺激時間の提示方法が視覚的から聴覚的，またはその逆に変更されて2種の異なった刺激様相間の転移テストが行われた。その結果，あらたに経験する他種の刺激様相のもとでも正確な弁別成績が保たれており，刺激様相間で正の転移が見られた。第2実験では頂点手続きが用いられた。訓練として40秒のDT-FI強化スケジュールを変型した頂点続きが行われた。FI 40秒試行の訓練初期では第1実験で用いられたのとおなじ聴覚制激か視覚刺激のどちらかが提示されていた。つぎの段階ではすべての試行で視覚刺激（あるいはカウンター•バランスとして聴覚刺激）が提示され，強化可能時間が20秒目からに変更された。つぎの刺激様相間の転移テスト段階では，強化の可能な時間は20秒目からのままで聴覚刺激（あるいは視覚刺激）を提示する試行がテストとして行われた。聴覚刺激（あるいは視覚刺激)のテスト試行のもとでの反応パタンは，第1段階のDT-FI 40秒のもとで訓練された成績よりも第2段階の視覚刺激(あるいは聴覚刺激)でDT-FI 20秒のもとで訓練された成績に近く，刺激様相間で正の転移が認められた。この2つの実験結果からRobertsは，視覚刺激と聴覚刺激は同一のアキュムレータと記憶部に蓄えられ，それぞれ刺激様相に共通の作業記憶と参照記憶を形成していると結論した。第3，第4実験では，訓練段階で第2実験と同様にDT-FI 40秒の頂点手続きが視覚／聴覚刺激の提示のもとで訓練された。テスト段階では試行数の10%をテスト試行とし，そのテスト試行では試行が10秒間または20秒間だけ進行したところで，提示されていた刺激様相がもう一方の刺激様相へと変えられて100秒間続いた。提示刺激変更後の反応パタンは，変更された時間に影響を受けていてそれに応じて頂点の時間が早くなることから，2種類の刺激様相は同一の時計部から発するパルスにもとづいて測時されていると結論された。

また，MeckとChurch (1982) は，聴覚刺激と視覚刺激という異種刺激様相から時間という共通の属性を抽出することが可能であることを示した。第1実験では，見本刺激時間選択法を用い，ハウスランプという視覚刺激が2秒間消灯されるとたとえば左の梃子押し反応が，8秒間消灯されると右の梃子押し反応が強化される弁別訓練を行った。この弁別訓練が完成したあとのテストで，見本刺激時間を視覚刺激による提示から白色雑音という聴覚刺激の提示へと変え

てみても訓練時の弁別成績は維持されていた。第2実験では，かれらによって時間般化手続き（temporal generalization procedure）と名づけられた試行事態での時間弁別課題が用いられた。この手続きでは，ハウスランプの消灯によって2，4，6秒間のいずれかがの長さの見本刺激時間が梃子を引っ込められた状態で提示され，そのあとに梃子が提示されて反応可能な状態が平均5秒間続いた。試行数全体の半数の割合で提示される4秒間の刺激の場合だけ，その反応可能時間のあいだに反応があれば強化刺激が提示された。2秒間と6秒間の長さの刺激が提示された場合には，5秒間の反応時間内において反応が起こっても強化刺激は提示されずにITIに入った。6，12，18秒間の刺激の組合せで，正刺激時間が12秒間である別の群も設けられていた。いずれの群においてもこの訓練によって反応可能時間における反応頻度が正刺激の提示のもとでは高く，負刺激の提示のもとでは低いという分化曲線が得られたあとで，テストとして刺激の提示方法がハウスランプの消灯という聴覚刺激から白色雑音の提示という聴覚刺激に変更された。白色雑音刺激を用いたテスト時の反応時間における反応頻度を算出したところ，訓練とほぼ同様の弁別訓練曲線が描かれ，この2つの刺激様相間で時間弁別反応が転移するという般化現象が認められた。

第3実験で用いられた訓練課題では，白色雑音がオン-オフ-オンと継時的に変化して提示され，その各部分の持続時間の関係によって強化刺激の提示をもたらす反応が異なっていた。2群が設けられ，試行事態で刺激時間の弁別が訓練された。第1群では，訓練時の第1段階における白色雑音のオン-オフ-オンの各部分の時間の組合せは，最初のオンとオフは1，2，3秒間のいずれかとし，最後のオンは1，3秒間のいずれかとして合計18通りの組合せが作られた。そして，最初と最後のオンの差が±2秒間のときはたとえば左側の梃子への反応が強化され，このオンの差が0秒間ならば右側の梃子への反応が強化された。それ以外の組合せが提示されたときにはどちらの梃子を押しても強化は与えられなかった。つまりオンとオンが1秒間と3秒間，または3秒間と1秒間のように差が2秒間のときは左側の梃子を押し，1秒間と1秒間，あるいは3秒間と3秒間のように等しいときは右側の梃子を押すように訓練された。訓練の第2段階で用いられた組合せのほかに，あらたに11の組合せが加えられて提示された。その組合せは，オンは2秒間から6秒間のいずれかの長さでオフは2秒間であり，このいずれの組み合わせに対しても強化は与えられなかった。第3段階ではふたたび第1段階とおなじ組合せが訓練された。第2群に対しては，第1段階で用いられたものとおなじ組合せの刺激を用いて訓練が行われた。ただし強化条件は第1群とは異なり，白色雑音のオン-オフ-オンの3種の持続時間のなかからどれか異なる持続時間を検出させるといういわゆる孤立的問題（oddity problem）が行われた。そしてその孤立している時間が1秒間ならばたとえば左側の梃子への反応が強化され，3秒間ならば右側の梃子への反応が強化され，それ以外の場合にはどちらに反応しても強化は与えられなかった。テストは2群ともおなじ事態が用いられた。テストでは持続時間の組合せは第1段階のものと同一であったが，刺激は白色雑音による提示からハウスランプという視覚刺

激によるオフ-オン-オフの提示へと変更された。その結果，どちらの群でも白色雑音の提示で訓練されたさいの時間弁別の成績は，テストとしてハウスランプを用いても低下することなく維持された。

Meck (1984) は刺激提示用ランプの点灯のような視覚刺激ブザー音のような聴覚刺激の2種類の刺激様相に対する注意の配分が，時間弁別行動にどのような影響を及ぼすかを分析することによって，体内時計のモデルのゲート回路の機能について考察した。時間弁別行動を形成する方法として，かれはChurchとDeluty (1977) による見本刺激時間弁別法によってPSEを求める手続きと，Roberts (1981) の考案した頂点手続きを用いた。各刺激様相への注意の配分を制御する方法として，不均等刺激確率法 (unbalanced stimulus probability method) と先行提示法 (prior-entry method) が用いられた。不均等刺激確率法では，見本刺激がたとえば視覚的あるいは聴覚的のどちらかで提示される。そのさい全試行に占める視覚刺激提示試行と聴覚刺激提示試行の割合をたとえば7：3というように不均等に設定する。このような割合に設定することによって，視覚刺激に対してより多くの注意が配分されるように操作することができる (LaBerge *et al*., 1970)。先行提示法とは，Titchner (1908) が創始した方法であり，視覚的または聴覚的に提示される刺激に対して信号検出のような作業を行っているさいに，その処理すべき刺激提示に先立って，警告刺激を短時間提示するという手続きである。処理すべき実際の刺激様相の如何にかかわらず，この先行する警告刺激が視覚刺激ならば注意は視覚刺激に向けられ，聴覚覚刺激が警告刺激として提示されると注意は聴覚に向けられ，警告刺激は後続の刺激の処理に影響を与えることが知られている。Meckはこのような不均等刺激確率法と先行提示法を用いて，特定の刺激様相への注意が測時行動に及ぼす影響を検討するため，不均等刺激確率法と見本時間刺激の選択法の組み合わせ，先行提示法と見本時間刺激の選択法の組み合わせ，先行提示法と頂点手続きの組み合わせの3種類について実験を行った。たとえば先行提示法と頂点手続きを組み合わせた手続きとは，信号刺激が視覚刺激なら10秒目で強化が用意され信号刺激が聴覚刺激なら30秒目で強化が用意されるという頂点手続きに，信号刺激に先立って警告刺激として視覚刺激か聴覚刺激のどちらかを提示する手続きである。これらの3つの組み合わせで実験を行った結果，聴覚刺激に注意が向けられているときには，見本刺激時間の選択法で得られるPSEの値や頂点手続きで得られる頂点時間に変化が見られないが，聴覚刺激に注意が向けられているときに得られるPSEの値や頂点時間は，いずれの課題においても時間間隔が比較的短く見積られる傾向があった。つまり，聴覚刺激と異なって視覚刺激の場合にあらかじめ注意を払っていないと提示時間が過小に評価されたといえる。この結果は，視覚刺激の提示に対してゲート回路が開いて測時を始めるのが，聴覚刺激の場合よりも遅れるため提示時間が短く見積られると解釈された。

Churchら (1976) もやはり，見本時間刺激についてのDLを3個体のネズミについて測定した。訓練段階では白色雑音で0.5秒間か8秒間かのどちらかが提示され，それぞれの長さの刺

激に対してあらかじめ正解とされている側の梃子押し反応が強化刺激をもたらすような弁別訓練が行われた。このようにして2種の見本刺激を弁別するという時間の相対的な長さについての弁別学習が完成したあとで，標準見本刺激としては，0.5，1，2，4，8秒の5種類が用意され，比較見本刺激はそれよりもわずかに長く時間を設定した聴覚制激を提示してテストを行ってDLを測定した。そのさい，誤反応には電気ショックが与えられた。このテストでは，連続する8試行の正反応が75%より多ければ比較刺激の提示時間をより短くし，それより少なければより長くする一種の極限法が用いられた。5種類の標準刺激のそれぞれについてDLが測定された。横軸に標準刺激の提示時間をとり，縦軸にWeber比（DL／標準刺激の提示時間）をとってその結果を表わすと，Weber比は0.5秒から2秒までの見本刺激時間では負の指数関数で減少していくが，2秒から8秒までの場合ではほぼ一定の値に保たれていた。その2秒以上の標準刺激に対する一定のWeber比は被験体によって異なり，0.21，0.28，0.64であった。

一方，Getty(1975)はヒトを被験者として0.05秒から3.2秒の標準刺激を用いた場合のWeber比を恒常法を用いて算出した。その結果はWeber比の関数は標準刺激が0.2秒までは下降し，0.2秒から2秒までは一定を保ち，2秒以上では上昇するというU字型の曲線を示していた。このように，見本刺激時間の弁別に関しては，ネズミを用いたChurchら(1976)の実験結果の方がGetty (1975) によるヒトの実験結果よりもWeberの法則へのあてはまりがよいことがわかる。

時計機構の生理学的実在性に関して，覚醒剤の一種であるmethamphetamineをネズミに対して投与し，頂点手続きを用いて実験を行ったところ，頂点頻度に影響はないが頂点時間が移行する結果が現われ，薬物によって時計の速度が変化することが示唆された（Maricq *et al.*, 1981)。methamphetamineとhaloperidol (chlorpromazineよりも強い作用をもつ同種の静穏剤) はたがいに拮抗作用をもつ薬物であるが，methamphetamineは体内時計の速度を促進し，haloperidolは時計の測度を遅くするという結果も得られている(Maricq & Church, 1983)。清水ら(1980)はこれらの向精神薬がネズミの時間弁別行動に及ぼす影響を，試行型のDRLスケジュールの一種であるDRLLスケジュールを用いて検討した。そしてmethamphetamineの投与は，反応潜時分布の形をそれほど変えずに全体として短いRLの方向へ移行させたが，chorpromazineの投与は長いRLの方向へその分布型を押しつぶすように変型し移行させ，前者は時間の経過を速めたが，後者は時間の弁別を不明瞭にしたと報告している。

時計部から発生するパルスを選択するゲート回路の機能について，どのような刺激が時間の"判断"をするのに利用されるかということについても検討が行われている。RobertsとHolder (1984) は頂点手続きを用いた刺激様相間の転移実験から，ネズミは正の強化刺激と関係していた"重要な刺激事象"だけを利用して時間弁別を行うと結論した。この実験の訓練段階では，DT-FI強化スケジュールを変型した，40秒目で強化が用意されるかあるいは強化が用意されずに120秒のあいだ試行が続くという頂点手続きが採用された。そのFI試行中には視覚刺激とし

てランプがつねに点灯されていた。頂点手続きの訓練ができてから，FI 試行の開始に先立つ刺激として 10 秒間または 20 秒間の白色雑音刺激がしばしば提示され，この先行刺激の提示が FI 試行における時間弁別行動に及ぼす影響が検討された。訓練条件の相違で 3 群が設けられ，novel 条件では先行刺激が提示されたあとにはかならず empty trial が続いた。training 条件では先行刺激が提示されたときには food trial が続くこともあり，no training 条件では先行刺激が提示されると強化刺激は提示されることなく 40 秒間だけ試行が続いた。視覚刺激と白色雑音刺激の関係が逆にされるカウンター・バランスも施してあった。その結果，先行刺激が提示された試行における頂点時間や頂点頻度は，先行刺激が提示されていない試行における結果と比べると，novel 条件と no training 条件ではほぼ同一であったが，training 条件では頂点時間が 40 秒よりも早い時間に移行した。かれらはこのことから，先行刺激が提示された場合に強化刺激が提示される可能性のある training 条件でだけ先行刺激が FI 試行の開始を示す刺激として利用されたと結論した。

1－8　DRL スケジュールについての Iwamoto の「IRT／RL の生起時系列」モデル」

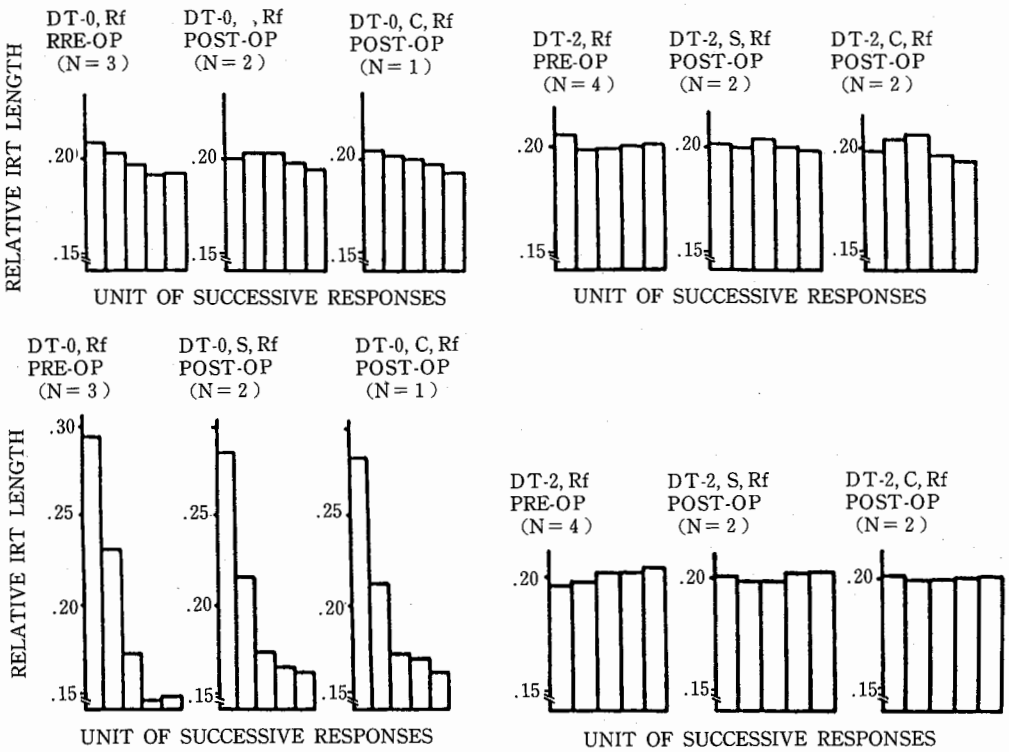


図10　ネズミの DT-DRL20/LH36 における反応系列の Vincent 分布図

左上は DT-0 条件における連続強化反応系列の Vincent 分布図，左下は DT-0 条件における連続非強化反応系列の Vincent 分布図，右上は DT-2 条件における連続強化反応系列の Vincent 分布図，右下は DT-2 条件における連続非強化反応系列の Vincent 分布図を示す。各図の左側は訓練30日目の，中央と右側は中隔損傷(S)と偽損傷(C)の保持テスト日の結果を示す(Iwamoto, 1981)。

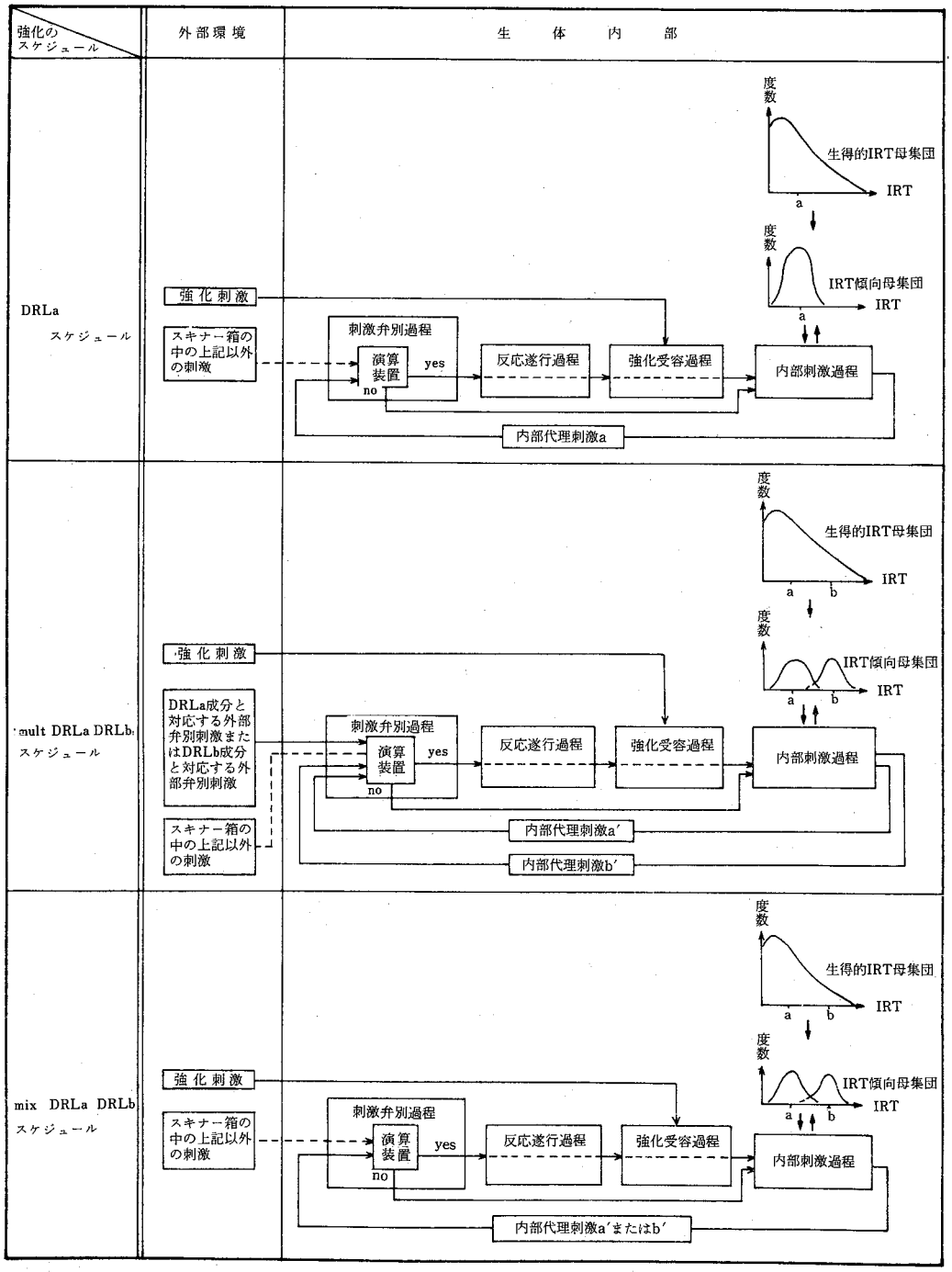


図11　時間弁別行動の記述的モデル（吉野・川俣・岩本，1980）

岩本（1981）はネズミを被験体とした36秒間の制限時間（LH 36）をもつDT 0秒-DRL 20秒とDT 2秒-DRL 20秒の強化スケジュールにおけるIRT／RLの時系列から，Weissら(1966)と同様の方法で自己相関関数を算出し，オートコレログラムとして図示した。その結果，DT 0秒の場合では隣接する反応間の時間的関係はそれほど密接ではなかったが，DT 2秒の場合ではlag 1で相関係数は約0.5と高いが以降は0に向かって収束する指数分型となっていた。

さらにIwamoto(1981)は，これらの実験におけるネズミの梃子押し反応のIRTやRLの時系列を，強化される反応が続いたときのIRT／RLの系列(連続強化反応時系列)と強化されない反応が続いたときのIRT／RLの系列（連続非強化反応時系列）に分類してVincent分布図を描いた(図10)。このVincent分布図から，DT 0秒の群では強化反応に続く連続非強化反応系列のIRT／RLは急速に短くなり，非強化反応に続く連続強化反応系列のIRT／RLはしだいに短くなることがわかる。IRTやRLの時系列構造を表わすこのようなIRT／RLの生起時系列モデルによって，DRLやDT-DRLスケジュールにおける非常に短いIRT／RLの生起機構が説明された。たとえば，DT 0秒の群における連続非強化反応時系列の特徴は，連続強化(成功)反応に続く最初の非強化(失敗)反応は，強化反応のIRT／RLにほぼ匹敵するほどの長さをもつにもかかわらず強化刺激の提示を随伴しないため情動が喚起され（Amsel, 1958），その結果それ以後の短いIRT／RLを多発させてしまうと解釈された。またDT 2秒の群では連続非強化反応系列に顕著な反応傾向が見られなかったが，これは非強化反応にともなって生起する情動状態がDT 2秒のあいだに急速に収束するためであると考えられた。

IRTの時系列構造を表わすモデルは，この他にもMcGill（1963）やNorman（1966）によるstochastic modelを利用した分析や，Nakahamaら（1977）や中浜（1977）によるマルコフ過程を適用した系列依存性の分析による定量的モデルがある。

1－9　吉野・川俣・岩本による「IRT母集団の分化仮説」

吉野ら(1980)はネズミとヒトに同一のDRLスケジュールを適用した実験結果にもとづいて，単一および複合（mixとmult）のDRLスケジュールにおける時間弁別行動の記述的モデルを提案した。そのモデルでは動物やヒトは生得的IRT母集団をもつと仮定され，生体内の刺激弁別過程，反応遂行過程，強化学習過程によってそのときに適用されている強化スケジュールと対応するIRT傾向母集団が分化されるようになると仮定されていた（図11)。このモデルは時間分化強化スケジュールばかりでなく，時間強化スケジュール一般に拡張可能である。

2．定量的モデル

以上のような定性的モデルは，時間弁別行動が行われる事態を分析して，その事態に含まれている反応－反応間隔，反応－強化間隔，強化－強化間隔などをはじめとして学習可能なさまざまな時間構造のうち，被験体がどれを利用して時間弁別を行っているのかを説明するモデルが多かった。利用される時間構造として，Pavlovは内部刺激強度，SkinnerはIRTや“迷信行

動”，Dews (1962) は仲介行動や反応から強化までの遅延時間，Schneider (1969) は mix EXT VI 強化スケジュールの各成分間の切り換え時間の弁別を提案してきた。このようなモデル化によって，たしかに FI 強化スケジュールや時間条件づけなどにおける時間弁別行動が，それらの実験手続きに含まれるどのような時間構造をどのように学習した結果形成されるのかを理解する手がかりは与えられるが，依然としてどのような機構によってその“時間”が弁別可能になるのかという疑問は残る。

以下に紹介するいくつかの定量的モデルでは，時間弁別機構の仮説的な数理モデルを提案して，どのようにして時間の弁別が可能になっているのかを数量的に説明しようとしている。それらのモデルは FT スケジュールや FI 強化スケジュールの反応パタンを説明するための個別的なものではあるが，それらのモデルに含まれている変数の値を適切に設定すればその他の時間弁別の手続きによる結果にも適用することができ，それらの変数の値の組合せからさまざま時間弁別行動の量的予測が可能である。

2－1　Killeen の「行動の時間的コントロール理論」

Killeen (1975) は，FT スケジュールにおいて移動行動のような一般的活動の頻度が FT 間隔時間内でどのように変化するかについて分析し，数量化を試みた。さらにその一般的活動の

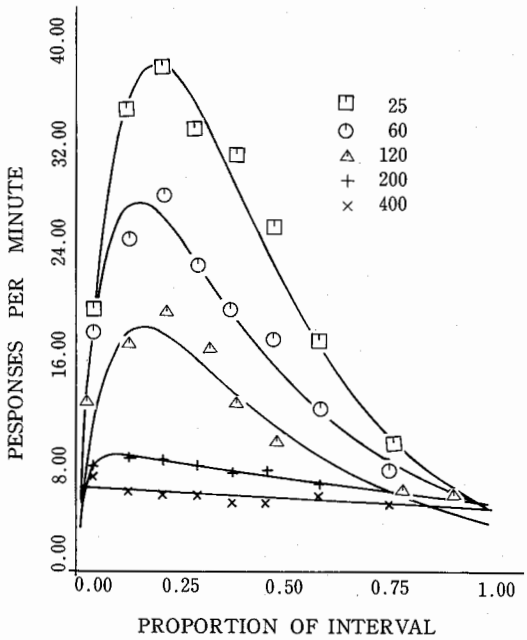


図12　さまざまな値の FT スケジュールにおけるハトの移動反応量の FT 間隔時間内での変化
実験条件は FT スケジュールの値であり，25, 60, 120, 200, 400秒である。各条件で得られた結果へあてはめられた曲線は(1)式によって算出された (Killeen, 1975)。

モデルを，FI 強化スケジュールにおける所定のオペラント反応や古典条件づけの時間条件づけにおける条件反応の出現頻度を表わすモデルの構成に適用した。かれのモデルは，そのような異なった実験事態で生起する反応パタンを基本的には同一の数式で表すことができる。これらの事態で共通して独立変数となって被験体の反応を統制しているのは，時間であるとかれは考えた。そこでかれは自分のモデルを行動の時間的コントロール(temporal control of behavior)理論と呼んだ。

かれはハトを被験体として，25 秒から 400 秒にわたる FT スケジュールで訓練を行い，そのさいの実験箱内での移動反応も並行行動として記録した。FT 間隔時間内を一定の間隔に分割してその時間的位置に対する移動反応の出現頻度を図示すると図 12 のようになる。FT 間隔時間内において，移動反応頻度は誘因刺激である餌の提示直後は低いがその後急激に増加し，FT 間隔時間のほぼ 1／4 の位置で最大値に達し，その後はなだらかに減少している。この実験結果を数量モデルとして表わしたのが(1)式である。

$$R=A(e^{-t/C}-e^{-t/I}) \qquad (1)$$

R は移動反応の頻度を表していて，t は FT 間隔時間内での相対的時間的位置を示し 0 から 1 までの値をとる。A, C および I の各変数は，モデルの変数で実験結果から算出される。この関数を図示したのが図 13 である。A は水平に描かれた実線を示していて，拮抗するその他の行動

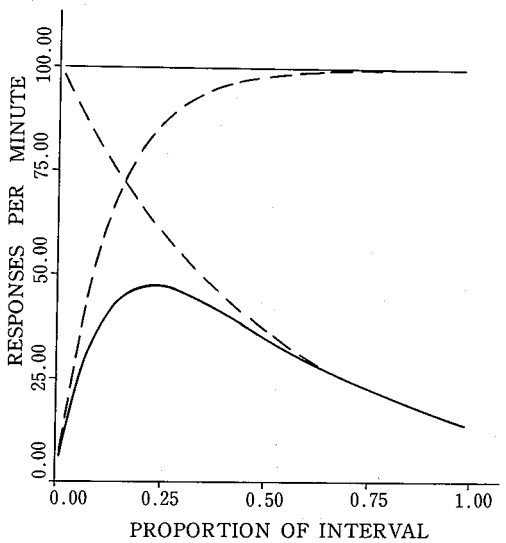


図13　FT スケジュールにおけるハトの移動反応量の FT 間隔時間内での変動を表わすモデル

実線で描かれた曲線が移動反応量を示し，実線で描かれた直線はこのスケジュールで生じうる移動反応量の仮想的な最大値とされる。実線の直線と上昇している破線との差は給餌によって生じる移動反応の制止量を示し，下降している破線は(3)式で示されるような，ほかに拮抗する反応がないと仮定した場合に生じる移動反応量の変化を表わしている（Killeen, 1975)。

が生じないと仮定したときの移動反応頻度の仮想的な最大値を表している。C は反応頻度が基準値 0 に減衰していく比率を示す測度である。I は移動活動の制止を示す測度と考えることができる。この(1)式で表わされている移動反応頻度は，つぎに示す 2 つの関数が合成されて作られたとみなすことができる。

$$R=Ae^{-t/I} \tag{2}$$

$$R=Ae^{-t/C} \tag{3}$$

(2)式は A 値から図 13 における上昇する破線部分を減じた結果得られた関数である。この(2)式は FT スケジュールでの“強化”刺激，すなわち給餌によって生じる移動反応の制止量を示す。I は値が小さいほど制止が速く働き，R は逆に速く減少する。(3)式は，図 13 における下降する破線を示している。この式は，ほかに拮抗する反応がない場合に生じる移動反応の頻度の変化を表している。(1)式で記述される実際の移動反応の頻度は，(3)式から(2)式を減じたものとみなすことができる。

このモデルから導かれる正規分布関数が，FI 強化スケジュールで現われる FI スキャラップを表わすモデルとして適切であると提案された。その正規分布関数は(4)式で表わされる。

$$R=He^{-((t-M)/S)^2} \tag{4}$$

R はこの式では梃子押しやキーつつきといった強化刺激をもたらし得る所定の反応の頻度を

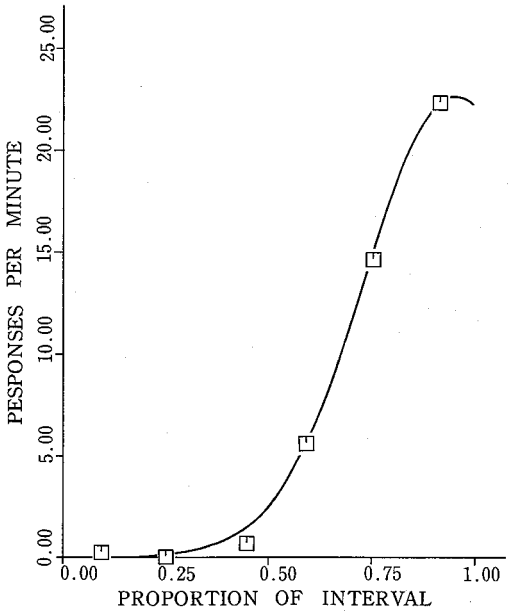


図14　CS の時間の関数としての唾液分泌量（1 分間あたりの唾液分泌量）の変化
四角のプロットが実測値を示し，実線は(4)式を実測値にあてはめたものである。Killeen (1975) による。ただしデータは Pavlov (1960) からの引用。

示す。t はFI間隔時間内の時間的な位置を示し，M は正規分布において確率密度が最大になる t の値を示し，S は正規分布の標準偏差に対する比率を示している。(4)式はハトを被験体としたときの5，30，50，200秒のFI強化スケジュールのもとでのデータ（Catania & Reynolds, 1968；Haukes & Shimp, 1975)と，ネズミを被験体とした60秒と120秒のFI強化スケジュールのもとでのデータ（Dunkich & Lee, 1973；Killeen, 1975）に対して実際に適用された。その結果(4)式はこれらのFI強化スケジュールのもとでの実際のFIスキャラップのパタンによく適合していることが示された。また，この正規分布関数はFI強化スケジュールばかりでなく，古典条件づけにおける時間条件づけのもとでの条件反応の正規頻度を表わすモデルとしても利用可能である。時間条件づけの適用例として，3分ごとに胃に無条件刺激としての弱酸が送り込まれるという実験事態における唾液分泌の頻度（drops／second）が検討された。図14の□がその実測値を示し，実線が(4)式を実測値にあてはめたものである。この図を見ると(4)式は，実験結果を効果的に表現していることがわかる。

2－2　Loganの「ハイブリッド理論」

Logan（1979）は，かれの提案していた古典条件づけについての学習モデル（Logan, 1977）をFI強化スケジュールにおける時間弁別行動にも適用し，強化事象に対する期待が形成される過程を論じて時間弁別行動のモデル化を試みた。そのモデルはHull-SpenceのS-R学習理論とTolmanのS-S学習理論の両者の学習過程を仮定しているため，両者の“混血児”を表わす用語を用いてハイブリット理論(hybrid theory)と名づけられた。かれによると，たとえばFI強化スケジュールでは，強化刺激の提示のような刺激事象が，刺激記憶痕跡（stimulus-memory trace)と名づけられた時間に関する一種の短期的な記憶を算出する。その刺激記憶痕跡はしだいに減衰していくが，もしもそれがつぎの強化刺激の提示のさいにまだ完全に減衰していなければその強化刺激とも随伴するため，より長期的な記憶として保持される。しかし完全に減衰してしまっていればつぎの強化刺激と随伴しないため，短期的な記憶から失われていきその実験事態におけるFI間隔時間とは連合しない。このような事態がなんども繰り返されると，つぎの強化刺激の提示のさいにも減衰していないような長い刺激記憶痕跡が生成されることが多くなり，それらはそのときのFI間隔と連合することになる。かれはこのような過程をとおしてしだいに強化直後の反応休止が生じ，スキャラップ状の反応パタンが形成されるようになると考えた。この考え方はPavlovによる時間条件づけの場合の刺激の内部強度弁別説の考え方を基盤とし，Hullによって作り上げられた行動の体系（行動の強さは動因と習慣強度の積によって決定される）をそのモデルの基本的背景としている。

ハイブリッド理論では内部刺激を受容し，反応を発するまでの過程を3段階に分けて説明している。以下にやや詳しくこれらの段階を説明してみる。

第1段階は時間記憶の成分である刺激記憶痕跡の形式と，その減衰過程に関するものである。かれは刺激記憶痕跡について，「強化刺激提示のような被験体にとって重要な刺激事象に含ま

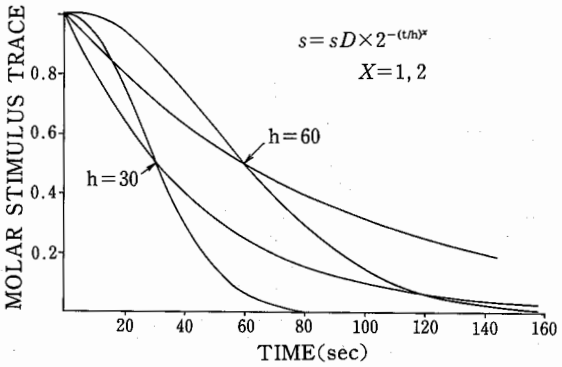


図15　刺激記憶痕跡の減衰曲線
(5)式の変数の値によってさまざまな曲線が描かれる。左側の2本の曲線は($h=30$, $x=1$) の関数と($h=30$, $x=2$)の関数である。右側の2本の曲線は($h=60$, $x=1$)の関数と($h=60$, $x=2$)の関数である。それぞれの2本の曲線のうち$x=2$の曲線は正規分布の右半分の形をしている (Logan, 1979)。

れる無数の微小な刺激はさまざまな長さの刺激記憶要素痕跡を生成するが，生成されたそれらの刺激記憶要素痕跡の集合体が刺激記憶痕跡である」と仮定している。たとえば，餌という刺激の提示によって作られる刺激記憶痕跡は，その外形に関する刺激記憶要素痕跡やそのにおいに関する刺激記憶要素痕跡などから構成されていることになる。Logan は個々の刺激記憶要素痕跡に関して，「個々の刺激記憶要素痕跡は質的，強度的に異なっており，それぞれ特有の持続時間をもっている」と仮定している。個々の刺激記憶要素痕跡はそれらがそれぞれもっている特有の長さしか持続しないので，ある時点における個々の刺激記憶要素痕跡の強度の総和としての刺激記憶痕跡の全体的強度は強化刺激事象が生起したときに最大値を示し，そののちつぎの強化刺激事象の出現までは単調に減少していく。この全体的刺激記憶痕跡の強度の減衰関数としてつぎの式が提案されている（図15)。

$$s=sD\times 2^{-(t/h)^x} \qquad (5)$$

ここでsは全体的刺激記憶痕跡の強度を示し，sDは刺激強度の力動性† を示し，hは刺激強度が1／2に減衰するまでの経過時間であり，xは関数の形を決定する変数を表わしている。図15のようにxが1より大であると正規分布の右半分の形になる。

図16はこの全体的刺激記憶痕跡が減衰していく過程をそれを構成する個々の刺激記憶要素痕跡の持続時間から描いたものである。この図は，餌や電撃などの提示のような情動を喚起する重要な刺激事象が提示されたときまで残っている刺激記憶痕跡要素は，その提示刺激事象と連

† 刺激強度の力動性という概念は Hull によって提案された。刺激のもつ反応起動力は，刺激の属性や刺激の強度によって異なることを表わしている。古典条件づけでは無条件刺激と条件刺激の反応起動力に相当する (Hilgard & Bower, 1975)。

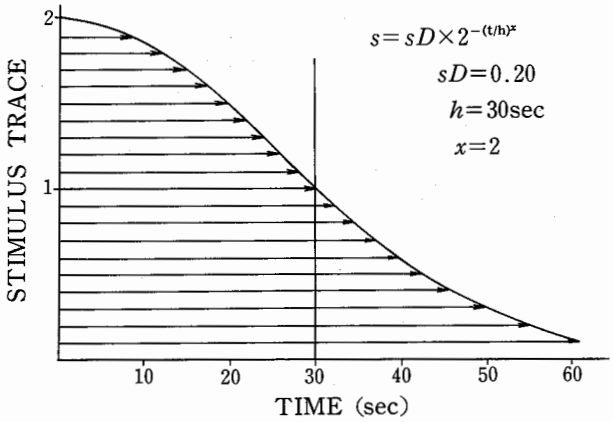


図16　刺激記憶痕跡の減衰過程
曲線が刺激記憶痕跡の強度を表わす関数であり，直線の矢印で描かれた直線はその刺激記憶痕跡を構成する刺激記憶要素痕跡である。個々の刺激記憶要素痕跡はそれぞれ固有の持続時間をもち，それが順次消滅するにつれて刺激記憶痕跡の強度が低下していく（Logan, 1979）。

合することを表わしていると見ることができる。

Logan によると，刺激記憶痕跡の形成過程とは感覚過程ではなく，知覚過程であるとされている。全体的刺激記憶痕跡の強度の減衰関数の変数 x および h の値が決定される機構に関しては，かれは“mystery mechanism”という機構を仮定している。この機構は刺激のもつさまざまな属性に対して刺激記憶痕跡が生成されるさいに重みづけをする機能をもっていると説明されているが，その mystery という名前のとおり，どのような要因によってどのように重みづけが決定されるのかは明らかにされてはいない。この刺激記憶痕跡が貯えられる仮設的な機構として，知覚記憶（perceptual memory）と呼ばれる有限の容量を持つ貯蔵装置が想定されている。時時刻刻と生成される刺激記憶痕跡はこの知覚記憶へ送り込まれるが，その記憶容量の限界のために古い刺激記憶痕跡から順に消滅していく。この刺激反憶痕跡のなかには外部環境制激によって生成される刺激によるものだけでなく，たとえば空腹時に発生する内部的な動機づける刺激によるものが含まれている。

第2段階は，周期的な正の強化刺激の提示のような事象生起に対して期待が形成される過程である。その期待の大きさが決定される機構を説明するために，正の強化事象生起に対する認知的期待（cognitive expectancy）† という概念を導入してその認知的期待の形成過程が論じられている。かれによると，刺激記憶痕跡の個々の刺激要素は，それらが減衰していくさいに知

† 認知的期待は刺激事象間の連合によって形成されており，S–S 学習理論にしたがった学習過程が仮定されている。S–S 理論における学習過程とは，ある特定の刺激事象 S_1 が提示されている事態では，特定の行動 R は特定の刺激事象 S_2 をもたらすということを被験体が認知することである。したがって“認知的”期待と名づけられた。

覚記憶のなかで活性化している刺激要素や時間的に接近している刺激事象と認知的に連合する。したがって，あとでそれと同種類の刺激要素がふたたび生じると，その刺激要素と連合している刺激事象の正の期待を生じさせることになる。もし，この期待した刺激事象が刺激要素の減衰してしまうまでの時間内に生起しなければ，その刺激要素はそれと対応する刺激事象の非生起と連合して負の期待を生じさせる。正の期待や負の期待は加算されて，その時点における期待の合計値を生成する。このように刺激要素と刺激事象との認知的連合によって反応が生起する“可能性”は説明できるが，実際の反応生起を説明するには認知的連合だけでは不十分で，それに加えて動機づけの程度も変数として考慮しなければならない。そこで，かれは動機づけ要因を表わす「刺激強度の力動性」という概念を用いて，認知的連合が刺激事象生起に対する期待の強度（*sEs*）に転換される過程を説明した。その「刺激強度の力動性」が決定される過程はつぎのとおりである。まず反復提示される先行刺激 *s* が期待を生じさせ，つぎにその期待と後続する無条件刺激 *us* の強度によって決定される力動性の両者が演算されて力動性が決定され，さらにその力動性が先行刺激 *s* によって生成される期待の大きさに影響を与える。このようなフィードバック回路によって刺激強度の力動性が決定されるとされた。これらのことをまとめると，期待の強度はつぎの式で表わされる。

$$sEs=\frac{sHs\times sD}{1-(sHs\times usD(1-sD))} \qquad (6)$$

この式 *sHs* は刺激間の連合強度，*sD* は先行刺激における動機づけ変数，*usD* は古典条件づけにおける無条件刺激の動機づけ変数を表わす。この式をオペラント条件づけに適用する場合には，強化刺激はオペラント反応に条件づけられているとみなして，*usD* を強化刺激の力動性を表わす *clsD*† に置き換えられる。刺激事象の反復提示が実際の反応生起を引き起こすようになる過程の最終的段階は，期待の強度が実際の反応生起を表わす興奮ポテンシャル（$_sE_R$）へと変換される過程であるとされている。この変換は古典条件づけならば無条件反応も条件反応も対応する刺激によって誘発されるので期待の強度が反応生起，すなわち $_sE_R$ を自動的に決定するが，オペラント条件づけでは所定のオペラント反応の自発頻度がしだいに増大するという行動は学習されなければならず，したがって期待の強度が反応生起に直接的には結びつかない。そこでオペラント条件づけでは，期待の強度と反応ポテンシャルである $_sE_R$ を仲介する過程としてS−R型の学習過程が想定された。

第3段階では，$_sE_R$ の値によって反応生起がどのように決定されるかが示されている。$_sE_R$ と実際の反応生起との関係については，「ランダムに変動する閾値」という概念を仲介変数として導入している。かれの考えによれば，$_sE_R$ の値は強化制激の提示時間が近づくにつれて大きくなるが，この値がそのときの閾値を越えると反応が生じるとされている。ただし，閾値はある値を中心としてランダムに変動するためその分布は正規分布をしており，したがって実際に反

† *clsD* とは，反応に条件づけられた刺激（conditional stimulus）の力動性を意味している。

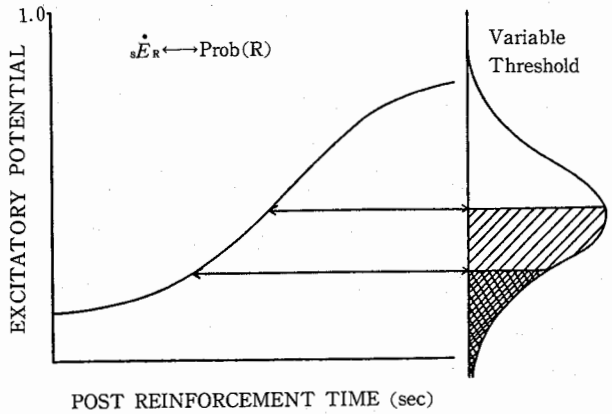


図17　興奮ポテンシャルの値が，ランダムに変動する閾値によって反応の自発確率に変換される過程
FI 間隔時間のある時点における興奮ポテンシャルの値が時間経過とともに増加し，その値が右に示した閾値の正規分布の斜線の部分を越えると反応が自発される（Logan, 1979）。

応が生じるまでの時間も変動する（図 17）。

さて，つぎにこのハイブリッド理論を FI 強化スケジュールにおける実際の反応パタンに適用してみる。FI 強化スケジュールにおけるスキャラップ状の反応パタンは，刺激記憶痕跡の減衰関数を反映していると考えることができる。FI スキャラップを記述する変数は刺激記憶痕跡の関数で用いられた h と x，および所定の反応が自発され始めるのに必要な $_sE_R$ の閾値の分布の平均と分散である。たとえば，h と x の値を増加させるとその場合の FI 間隔時間内の反応頻度関数はスキャラップ反応パタンからブレーク・アンド・ラン反応パタンを示すように変化する。ハイブリッド理論は，FI 強化スケジュールにおける反応パタンだけでなく VI 強化スケジュールの反応パタンもこの 1 つもモデルで説明可能なことところに利点がある。Logan はネズミを被験体として，30 秒と 2 分の FI 強化スケジュールと 2 分の VI 強化スケジュールの訓練を行った結果を，ハイブリッド理論にあてはめた。得られた結果についての分析は，初発反応までの時間を表す測度である初発反応の累積確率（cumulative probability）と，反応頻度を表す測度である局所的な反応確率の 2 種類の測度† について行われた。例外はあったが，FI 間隔時間内で

† 初発反応の累積確率の算出方法は，FI 間隔時間を等しい時間間隔のいくつかの bin に分け，各 bin における初発反応の数を FI 間隔時間ごとに加算して初発反応の数を計算する。その値を FI 間隔時間の総数で割ることによって各 bin における初発反応の生起確率が求められる。その生起確率を累積することによって初発反応の累積確率が算出される。局所的な反応確率の算出方法は，各 bin における初発反応を除いた反応数を求め，その bin の前にすでになされている初発反応で割り，さらにその bin の秒数を 10 倍した値で割る。局所的な反応確率は 10 倍することによって 1 秒あたりの反応数に変換することができる。この局所的な反応確率は，厳密にいえば 0.1 秒あたりの反応頻度であって確率とはいえない。Logan は 0.1 秒間のあいだに生じる反応の最大数は 1 であるという仮定のもとでこれを確率と名づけた。

どちらの測度の値も増加した。さらにこれら2種類の測度について ${}_sE_R$ を計算したところ，いずれの測度の ${}_sE_R$ の値もFI間隔時間内で強化直後のわずかな増加とその後の漸次的増加傾向というFIスキャラップと同一の反応パタンの特徴を示した。FI強化スケジュールの値が異なっていても実測値と ${}_sE_R$ の曲線の形はかなりの類似を示していた。

2－3 HansonとKilleenのカウント・レジスターモデルと自動触媒モデルからなる「2段階モデル」

HansonとKilleen (1981) はFI間隔時間内の反応パタンを，前述したSchneider (1969) のように反応休止期と反応頻発期の2段階からなるものと見なして，FI間隔時間が始まって初発反応がなされるまでの時間を表すモデルであるカウント・レジスターモデル(count-register model)と，反応が初発された後の加速度的な反応頻度の増加傾向に関する自動触媒モデル(autocatalytic model)の2つの下位モデルからなる2段階(two state)モデルによってFI強化スケジュールにおける反応パタンの全体像を数理的に記述しようと試みた。

反応休止期の長さに関するかれらのカウント・レジスターモデルは，Churchらの体内時計モデルと同様に，パルスカウント説にもとづいた測時のモデルを提案している。その前提条件として，動物には一定周期のパルスを発生する回路があると仮定している。そしてFI強化スケジュールにおける測時行動のモデルとして，強化刺激の提示直後からパルスが数えられてFI間隔時間の計測が始まり，そのFI強化スケジュールの設定値に見合った数のパルスが計測され終わると所定の反応が生じ，そのさいに計測されたパルスの数が貯蔵器(register)に残される，という一種の情報処理モデルが提案された。このモデルは，FI間隔時間内の初発反応の時間の数量的分析に用いられた。このモデルの変数は，単位時間あたりのパルスの発生頻度を表わす λ と，反応が生じるのに必要なパルスの計測数を示す ξ の2つである。このモデルにおける重要な前提条件は，ξ 番目の計測が行われるまでの時間(すなわち，初発反応までの時間)の分布は，ガンマ分布をしていることである。初発反応がなされる時間 $S(t)$ はつぎの式で表わされる。

$$S(t)=\frac{\lambda^{\xi}t^{\xi-1}}{\Gamma(\xi)}e^{-\lambda t} \qquad \text{ただし} t>0 \tag{7}$$

$$S(t)=0 \qquad \text{ただし} t\leqq 0 \tag{8}$$

またかれらはFI間隔時間の反応頻発期における反応の加速度的増加現象に関しては，Schneiderによる反応休止期と反応頻発期からなる2段階モデルに多少修正を加えて，自動触媒モデルを提案している。Schneiderの2段階モデルでは反応頻度は一定であると考えられていたが，HansonとKilleenの自動触媒モデルによれば，反応すること自体が生体に対する触媒刺激となって，その反応がつぎの反応の生起頻度を高めるものとされている。ここで $\dot{R}$ は反応頻度の変化であり，R はある時間における反応頻度であり，Rm は反応頻度の物理的な限界値であるとすればこの自動触媒モデルは(9)式のように表わすことができる。

$$\dot{R}=kR(1-R/Rm) \tag{9}$$

この式を解くとつぎのようなロジスティック関数となる。

$$\dot{R}(t)=\frac{RmRo}{Ro+(Rm-Ro)e^{-k(t-ts)}} \qquad ts<t<T \qquad (10)$$

ここで ts は反応開始時間で，Ro はそのときの反応頻度，k は Rm に達する反応増加率であり，T はFI間隔時間の長さを示す。カウントレジスターモデルと自動触媒モデルの2つのモデルから導き出されたFI間隔時間内での反応頻度の変化(初発反発までの時間とその後の反応頻度の増加)に関する予測値は，かれらの自身の行ったハトを用いたFI強化スケジュール(FI時間値は30秒から300秒)の結果と比較されたが，その結果は(10)式による予測値とよく適合していることが示された。

2－4　Gibbonの「スカラー期待論」

Gibbon (1977) によるスカラー期待理論 (scalar expectancy theory) は，2つの仮説から構成されている。第1の仮説は物理的時間と心理的時間のあいだの関係についてであり，第2の仮説は心理的時間と実際の時間の時間弁別行動との対応関係についてである。

第1の仮説でGibbonは，測時される物理的時間に対する心理的時間の平均値と標準偏差の関係について，つぎの4種類の可能性があることを示した。

$$\mu=k1\,T,^{0} \quad \sigma=k2\,T^{0} \qquad (11)$$

$$\mu=k1\,T,^{1} \quad \sigma=k2\,T^{0} \qquad (12)$$

$$\mu=k1\,T,^{1} \quad \sigma=k2\,T^{0.5} \qquad (13)$$

$$\mu=k1\,T,^{1} \quad \sigma=k2\,T^{1} \qquad (14)$$

$$\mu=k1\,T,^{\beta} \quad \sigma=k2\,T^{\alpha} \qquad (15)$$

たとえばここで T はFI間隔時間の長さで，μ および σ はそれぞれ時間の評価値の平均と標準偏差を示す。かれはこれらの式で表わされる測時モデルを，上から順に“非測時(no timing)”，“絶対測時 (absolute timing)”，“ポアソン測時 (poisson timing)”，“スカラー測時 (scalar timing)”†，“ベキ測時 (power timing)”と名づけた。これらの測時モデルのなかで，かれはGibbon自身(1972)による回避学習における測時行動の数理的分析結果から，(14)式で示されるスカラー測時モデルを支持した。かれは，どんな手続きで提示された時間間隔であってもそれは被験体に時間についてのある評価値を生じさせ，その時間の評価値の平均と標準偏差は分，秒といった物理的時間単位に比例していると仮定した。したがってFI強化スケジュールの設定値がどんな値であっても，評価値の平均と標準偏差の比率 (σ/μ：変動係数) は一定の値を保っていると考えられる。すでに紹介したようにChurchとGibbon (1982) はネズミを用いて，条件によって2，4，8秒間のいずれかのハウスランプの点灯時間を正刺激とし，その正刺激よりも短いかあるいはそれより長いハウスランプの点灯時間を負刺激として弁別訓練してそのさい

† 評価値の平均と標準偏差が，測時されるべき時間 (たとえばFI間隔時間) をスカラー倍 (ここではk倍になっている)することによって得られるというモデルであるためスカラー測時モデルと名づけられた。

のそれぞれの正刺激についての分化曲線を求めた。横軸に時間をとり縦軸に反応頻度をとって分化曲線を描くさいに横軸を直線尺度にすると，左右対称の正規分布が描かれた。さらに正刺激が2，4，8秒間のときの分化曲線の広がりを比較すると，正刺激の長さに比例して広がりも大きくなる傾向が現れた。このことからChurchとGibbonは，時間の評価値の標準偏差が測時される時間間隔に比例するという測時モデルである(14)式を支持した。

第2の仮説では，被験体がもっている時間の評価値と反応の自発傾向がどのような関係になっているのかが述べられている。その仮説では，強化刺激の到来に対する“期待”という変数を導入し，その“期待”によって反応の自発傾向が調整されると仮定している。FI強化スケジュールにおいてFI間隔時間内で時間が進行すると強化刺激に対する“期待”がそれにつれて増加するとされ，かれはその増加関数を数量的にモデル化した。そのモデルでは，強化刺激の量や絶食時間などによって決定される1回の強化刺激の提示に対する動機づけの量を，“期待”の総合計量と定義している。“期待”の総合計量をHで表し，被験体がもっているFI間隔時間についての評価値をxとすると，FI間隔時間内の進行時間tにおける“期待”の量$h(t)$はつぎのような双曲線関数で示された。

$$h(t)=\frac{H}{x-t} \tag{16}$$

このように，強化可能時間までの残り時間の逆数として“期待”の量は増加するとされた。そしてある時間における“期待”の量$h(t)$が“期待”の量の初期値である$h(0)$と比較され，(17)式で比$r(t)$の値がある閾値を越えると反応が自発されるとされた。

$$r(t)=\frac{h(t)}{h(0)} \tag{17}$$

この考え方は，FI強化スケジュールやDRLスケジュールのような再生法に相当する時間弁別の手続きにも，見本刺激時間選択法や般化維持手続きといった見積り法に相当する手続きにも適用できる。この仮説では“期待”という変数の導入によって，被験体が時間の評価値を多少なりとも偏って行動に反映させていることを説明することができる。

最後に，DRLスケジュールのもとでの時間弁別行動について提案されている定量的モデルを検討してみよう。

2－5　McGillの反応潜時モデル

McGill (1963) はヒトや動物の時間軸上で生起するさまざまな活動において，IRTを含む広義の反応潜時の分布が共通していると考えて，FIやDRLスケジュールでのIRTを含めた反応潜時に関する一般的な数理モデルを提案した。そのさまざまな事象には，各種のフリー・オペラント強化スケジュールでの累積反応数や，試行型オペラント事態である走路の走行時間の分布などが含まれている。それら事態における反応の分析結果から，これらの反応潜時分布を決定する行動の確率密度関数(probability density function)として指数分布があてはめられた。

この指数分布は，上記のような反応潜時の分布だけでなく，ネコの脊髄の介在ニューロンの自発的発火活動のIRTにもあてはまることが示された。このようにさまざまな現象に共通する時間構造があることから，かれは刺激が生じてから感覚器に入力され中枢神経系で処理され反応が生じるまでの一連の過程は，さまざまな活動に共通する「潜時過程」によって制御されていると仮定したモデルを考案した。このモデルはDRLスケジュールのもとで現われるIRTの分布のなかで，強化時間付近近のIRTの分布を説明しているが，IRTの短いバースト反応の分布については説明できないという欠点がある。このためかれのこのモデルは，DRLLやDT-DRLなどのバースト反応の少い試行型DRLスケジュールの方により適合するように思われる。

2－6　Normanの「ストカスティック潜時モデル」

McGillの反応潜時モデルに対してNorman (1966) は，DRLスケジュールにおけるIRTの分布の2峰性を表現するモデルを提案し，同時にそのモデルをFI強化スケジュールの反応パタンにも適用できるように拡張した。かれによって提案されたのは，反応時間間隔(IRT)分化強化スケジュール†において設定されたあるIRTの値に，被験体がオペラント反応に適応させていく学習過程に関するストカスティック（stochastic）な潜時モデルである。DRLスケジュールのもとでの行動を表わすこのモデルは，非強化事象は長いIRTの反応の生起頻度を高めるだけであるが，強化事象は強化されない短いIRTをもった反応と強化される長いIRTをもった反応をともに増加させるという2つの現象を生じさせると仮定している。このような仮定のもとでIRT分化強化スケジュールにおけるIRT分布関数が(18)式のように数式化された。

$$I(t)=(1-\alpha-\beta)F_1(t)+\beta F_0(t)+\alpha H(t) \tag{18}$$

ここで

$$\beta=\frac{1-\mu_1}{\mu_1}\lambda \tag{19}$$

$$H(t)=\frac{1}{\mu_1}\int_0^\infty L(t,\ s)\mu(s)dF_1(s) \tag{20}$$

である。ハトを用いて，6秒より長いIRTをもった反応が0.4の確率で強化されるというIRT分化強化スケジュールのもとでのIRTの分布は(21)式で表わされた。

$$\begin{aligned} h(t)&=\frac{6}{13}e && (7\leqq t) \\ &=\frac{6}{13} && (5\leqq t<7) \\ &=0 && (t\leqq 5) \end{aligned} \tag{21}$$

† IRT分化強化スケジュールとは，強化され得るIRTの値と強化され得るIRTをもった反応に対する強化確率との2つの変数をもった強化スケジュールである。20秒のDRLスケジュールは，強化確率が1の（IRTが20秒かそれ以上であればかならず強化される）IRT分化強化スケジュールの一種であると考えることができる。

図18のなかのヒストグラムがその実測値である。図18の黒丸は，(21)式の各項を

$$f_1(t)=4\,te^{-2t} \tag{22}$$

$$f_0(t)=\frac{1}{15}e^{-(1/15)t} \tag{23}$$

$$1(t,\ s)=\frac{d}{dt}L(t,\ s) \tag{22}$$

$$=\frac{3}{s} \qquad (\text{ただし } t \text{ が } \frac{5}{6}\leqq\frac{t}{s}\leqq\frac{7}{6} \text{ の場合})$$

$$=0 \qquad (\text{ただし，} t \text{ がそれ以外の値の場合})$$

$$\beta=\frac{1}{\mu_1-1}\lambda=\frac{1}{4} \tag{23}$$

$$\alpha=\frac{1}{2} \tag{24}$$

のように定めて表した関数によって算出された値である。図18をみてわかるように，(21)式で算出された黒丸は実測値の2峰性のIRT分布図を比較的よく表わしている。

3．時間弁別機構のモデルについてのまとめ

さて，以上に時間弁別行動についてよ定性的モデルと定量的モデルを紹介してきたが，最後にこれらのモデルの一般的な利点と欠点について述べる。

定性的モデルの利点は，現実のデータに忠実であり，そのモデルが言及している行動については充分な記述がなされていることである。欠点としては，量的な予測が行われ得ず，またそ

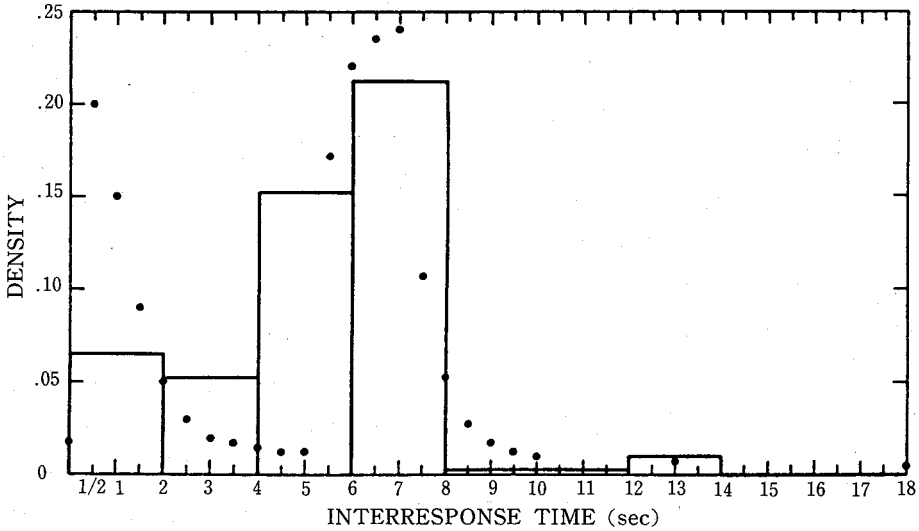


図18　6秒以上のIRTをもった反応が，0.4の確率で強化されるIRT分化強化スケジュールにおけるハトのIRT反応生起頻度の実測値とNormanのモデルによる予測値
ヒストグラムが2秒のbinごとの反応頻度の実測値を示し，黒丸がNormanのモデルによる予測値を示す（Norman, 1966）。

れぞれのモデルが現時点では時間弁別行動のなかの別々の側面について焦点を当てていることが多いため，モデル相互間の比較が困難なことがあげられる。定量的モデルの利点と欠点は定性的モデルのそれと表裏の関係にある。利点としては，数量的な記述が行われているので関係するモデル同士の相異，類似，あるいはその有効性を比較検討することが可能であることがあげられる。さらに，定量的モデルは数式という形式で内容の表現が単純化・経済化されているので，式の変形などによりある1つの強化スケジュールばかりでなく多様な時間弁別行動に適用することが可能であるという利点もある。一方，欠点としては，数式で用いられている変数についての心理的な意味づけが不充分であることが指摘できる。すなわち，心理学的な背景を充分に考慮することなく，ベキ関数やマルコフ過程といった既存の数学が直接的に適用されてしまう可能性がある。このため，これらの数量的モデルはある時間弁別行動の表現に対しての第一次近似として適合していても，実験事態が変化するとまったくあてはまらなくなる危険性をはらんでいる。さらにモデルが過度に単純化される弊害として，モデルが現実のデータを必ずしもよく記述できていない場合もあるということもあげられる。

定性的モデルと定量的モデルには上記のような欠点があるが，さらにどちらのモデルにも，現時点では仮説にすぎない心理的過程（刺激記憶痕跡や体内時計など）にどのような実体性があるのかという根本的な問題点がある。このように多くの問題はあるものの，時間弁別行動についてのモデル化を行うことによって，時間弁別行動の予測がより高精度で可能になるという利点もあり，さらにこれらのモデルの検証のための実験を促進するという研究の活性化の利点も見逃すことはできないだろう。

V おわりに

動物やヒトの時間弁別行動について，II章では時間生物学との関連を述べ，III章ではその研究のために用いられる手続きと動物習性学的見地からの問題点を検討し，IV章では古典条件づけや，FI強化スケジュール，DRLスケジュールなどの時間強化スケジュールにおける時間弁別機構についてのモデルを紹介した。

心理的な時間とそれに対応する動物やヒトの行動に関する研究の歴史は古いものの，これまでに活発に研究されてきたとはいえなかった領域であるため，これまでに得られた重要な知見は研究されてきた歴史に必ずしも比例しているとはいえない。たしかに，時間はほかの刺激様相とは異なって直接的に対応する感覚器官が特定しにくいため，ある意味では捉えにくい感覚であるといえる。そのため時間生物学の分野や動物の時間弁別行動の研究分野では，時間の経験がどのような機構で作られるかについての理論化のさいには，その時間が24時間単位のものでも数秒単位のものでも，動物の体内になんらかのペースメーカーの存在を仮定することが多い。ヒトの時間知覚の研究分野でも，ペースメーカーによる測時モデルが提案されている

(Treisman, 1962 ; Kinchla, 1970 ; Creelman, 1962) が，「時間はそれ自体は知覚されることはなく，知覚されるのは事象であり，その知覚された事象から時間が構成される」という Gibson (1973) の主張に代表されるような，時間の経験は認知的活動によって構成されるという認知的仮説もいちがいに無視はできない (Fraisse, 1984)。

時間生物学の分野では，被験体に感覚遮断を施した実験や脳内の一部を切除したりする方法を用いて，ペースメーカーの所在をつきとめようと努力がなされており，一部の動物についてはある種の時計の存在が確認されている。しかし，現在ではそのペースメーカーの機能にとしては数十時間以上の周期の行動に対するコントロールしか確かめられていないので，時間生物学における知見を数秒から数分といった比較的短い時間についての知覚や行動に対して直接適用することはできない。したがって，比較的短い範囲の時間を扱っている動物やヒトの時間弁別行動について提案されている，仮説的なペースメーカーによる時間判断モデルが時間生物学の知見によって強力に支持されているとは現段階ではとてもいえない。残念ながら，短い時間に関するペースメーカー説はその根本的な前提であるペースメーカーの実在を確証していない。そのようなモデルに比較して，ペースメーカーの存在を仮定せず内外事象の知覚によって時間が構成されるとするモデルは現時点ではより実証可能であるといえる。ここで紹介した多くのモデルの優劣はいまだに明確ではないが，少なくとも時間弁別行動の研究を活性化させたことは評価できる。

心理的な時間とそれに対応する行動については，上記のような立場のほかにも発達心理学と関連する重要な知見も多い。たとえばこどもは時間という概念をもともと直感的にもっているのではなく，速さと距離の概念が確立したのち，「時間＝距離／速さ」という関係を理解してはじめて時間の概念が確立すると主張する立場などがその1つである (Piaget, 1969) が，本論文ではこれらの領域における諸問題について残念ながら省略することにした。

それぞれの立場から時間と行動についての研究成果がそれなりにあがってはいるが，心理的な時間に関しての研究動向は統一的な方向に向かっていないように思われる。動物を被験体とする時間生物学や時間弁別行動における主要な研究対象は「強化刺激のような重要な事象が生起している環境における適応行動」であるが，ヒトにおいてはそれが「記憶としての時間評価」であり，発達心理学では「概念としての時間の発達」であるとみなすことができる。これらの研究領域による視点の差異は，考え方が対立しているというよりもそれぞれ別の側面から動物やヒトにおける心理的な時間とそれに対応する行動の変容過程を研究しているのであり，したがって相互に利用しあえる情報が少ないことになる。たとえば発達心理学においては，「概念としての時間」はヒトの場合には6歳頃までは未発達だとされているが，ハトやネズミでも成体では時間弁別が学習可能であることが確められているだけでこれらの知見が相互に利用され討論されることは稀である。

これまでは，動物の時間弁別のモデルは，おもに生理学的な手法(薬物投与法，損傷法など)

と行動学的手法とを併用し，それによって得られた結果から検証されてきた(岩本•和田，1985 a，1985 b；和田•岩本，1985)。このような方向の研究は，被験体の特性上もちろん積極的な意味がある。しかし，動物の時間弁別機構に関する知見をヒトにまで広げその総合的理解を得るためには，ペースメーカー説のような情報処理モデルやLoganの時間記憶説のような認知的色彩の濃い立場からのモデルなどをも積極的に取り込みながらも，真に実証的な総合的研究が要請される（岩本・高橋，1982，1984)。

VI 引 用 文 献

Allan, L. G. (1979) The perception of time. *Perception and Psychophysics*, **26**, 340–354.

Amsel, A. (1958) The role of frustrative nonreward in noncontinuoius reward situations. *Psychological Bulletin*, **55**, 102–119.

Anderson, M. C., & Shettleworth, S. J. (1977) Behavioral adaptation to fixed-interval and fixed-time food delivery in golden hamsters. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **27**, 33–49.

Anger, D. (1963) The role of temporal discriminations in the reinforcement of sidman avoidance behavior. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **6**, 477–506.

Aschoff, J. (1984) On the perception of time during prolonged temporal isolation. *Human Neurobiology*.

Aschoff, J., & Meyer-Lohmann, J. (1954) Angeborene 24-Stunden-periodik beim Kücken. *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, **260**, 170–176.

Beecher, M. D. (1971) Operant conditioning in the bat *Phyllostomus hastatus*. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **16**, 219–223.

Blough, D. S. (1958) A method for obtaining psychophysical thresholds from the pigeon. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **1**, 31–43.

Blough, D. S. (1972) Recongntition by the pigeon of stimuli varying in two dimensions. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **18**, 345–367.

Brady, J. (1967) Control of the circadian rhythm of activity in the cockroach **II**. The role of the suboesophageal ganglion and ventral nerve cord. *Journal of Experimental Biology*, **47**, 165–178.

Brady, J. (1969) How are insect circadian rhythms controlled? *Nature*, **223**, 781–784.

Breland, K., & Breland, M. (1961) The misbehavior of organisms. *American Psychologist*, **16**, 681–684.

Bruner, A., & Revusky, S. H. (1961) Collateral behavior in humans. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **4**, 349–350.

Bruce, V. G., & Pittendrigh, C. S. (1960) Temperature independence in a unicellular "clock". *Proceedings of Natural Academy of Science*, **42**, 676–682.

Bünning, E. (1973) *The Physiological clock*. Springer-Verlag.

Byrd, L. D. (1975) Contrasting effects of morphine on schedule-controlled behavior in the chimpanzee and baboon. *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, **193**, 861–869.

Church, R. M. (1978) The internal clock. In Hulse, S. H., Fowler, H., & Honig, W. K. (Eds.), *Cognitive processes in animal behavior*, Chap. 10. Lawrence Erlbaum, pp. 277–310.

Church, R. M., Getty, D. J., & Lerner, N. D. (1976) Duration discrimination by rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **2**, 303–312.

Church, R. M., & Deluty, M. Z. (1977) Bisection of temporal intervals. *Journal of Experimental*

Psychology: *Animal Behavior Processes*, **3**, 216–228.

Church, R. M., & Gibbon, J. (1982) Temporal generalization. *Journal of Experimental Psychology*: *Animal Behavior Processes*, **8**, 165–186.

Cloar, T., & Melvin, K. B. (1968) Performance of two species of quail on basic reinforcement schedules. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *11*, 187–190.

Creelman, C. D. (1962) Human discrimination of auditory duration. *Journal of the Acoustical Society of America*, **34**, 582–593.

Cumming, W. W., & Schoenfeld, W. N. (1958) Behavior under extended exposure to a high-value fiexd interval reinforcement schedule. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **1**, 235–263.

出口武夫(1982) 動物の体内時計をさぐる 現代化学, **140**, 42–48.

Dews, P. B. (1962) The effect of multiple S^{Δ} periods on responding on a fixed-interval schedule. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **5**, 369–374.

Dews, P. B. (1965a) The effect of multiple S^{Δ} periods on responding on a fiexd-interval schedule: **II**. In a primate. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **8**, 53–54.

Dews, P. B. (1965b) The effect of multiple S^{Δ} periods on responding on a fixed-interval schedule: **III**. Effect of changes in pattern of interruptions parameters and stimuli. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **8**, 427–435.

Dews, P. B. (1966a) The effect of multiple S^{Δ} periods on responding on a fixed-interval schedule: **IV**. Effect of continuous S^{Δ} with only short S^{D} probes. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **9**, 147–151.

Dews, P. B. (1966b) The effect of multiple S^{Δ} periods on responding on a fixed-interval schedule: **V**. Effect of periods of complete darkness and of occasional omissions of food presentations. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **9**, 573–578.

Dews, P. B. (1970) The theory of fixed-interval responding. In Schoenfeld, W. N. (Ed.), *The theory of Reinforcement Schedule*. Appleton-Century-Crofts.

Dews, P. B. (1978) Studies on responding under fixed-interval schedules of reinforcement: **II**. The scalloped pattern of the cumulative record. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **29**, 67–75.

Eskin, R. M., & Bitterman, M. E. (1960) Fixed-interval and fixed ratio performance in the fish as function of prefeeding. *American Journal of Psychology*, **73**, 417–423.

Feldman, J. F. (1967) Lengthening the period of a biological clock in *Euglena* by cycloheximide, an inhibitor of protein synthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **57**, 1090-1087.

Jerraro, D. P., Schoenfeld, W. N., & Snapper, A. G. (1965) Sequential response in the whte rat during conditioning and extinction on a DRL schedule. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **8**, 255–260.

Ferster, C. B., & Skinner, B. F. (1957) *Schedules of reinforcement*. Prentice-Call, 1957.

Ferster, C. B., & Zimmerman, J. (1963) Fixed-interval performances with added stimuli in monkeys. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **6**, 317–330.

Fraissé P. (1984) Perception and estimation of time. *Annual Review of Psychology*, **35**, 1–36.

Getty, D. J. (1975) Discrimination of short temporal intervals: A comparison of two models. *Perception and Psychophysics*, **18**, 1–8.

Gibbon, J. (1972) Timing and discrimination of shock density in avoidance. *Psychological Review*, **79**, 68–92.

Gibbon, J. (1977) Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*,

84, 279–325.

Gibbon, J. (1981) On the form and location of the psychometric bisection function for time. *Journal of Mathematical psychology*, **24**, 58–87.

Gibbon, J., & Church, R. M. (1984) Sources of variance in an information processing theory of timing. In Roitblat, H. L., Bever, T. G., & Terrace, H. S. (Eds.), *Animal cognition*. Lawrence Erlbaum.

Gibson, J. J. (1975) Events are percievable but time is not. In Fraser, J. T., & Lawrence, N. (Eds.), *The Study of Time* **II**. Springer-Verlag, 295–301.

Ginsburg, N. (1960) Conditioned vocalization in the budgerigar. *Journal of Comparative and Physioloical Psychology*, **53**, 183–186.

Gollub, L. R. (1964) The relations among measures of performance on fixed-interval schedules. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **7**, 337–343.

Gonzalez, R. C., Rochelle, M. E., & Bitterman, M. E. (1962) Extinction in the fish after partial and consistent reinforcement with number of reinforcements equated. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **26**, 221–235.

Grossman, K. E. (1973) Continuous, fixed-ratio and fixed interval reinforcement in honey bees. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **20**, 105–109.

Halberg, F. (1959) Physiologic 24-hour periodicity; general and procedural considerations with reference to the adrenal cycle. *Zeitschrift für Vitamin-, Hormon-und Fermentforschung*, **10**, 225–296.

Halberg, F., Katnas, G. S., Chiba, V., Sainz, M. G., Kovats, T. G., Küunkei, H., Montalbetti, N., Reinberg, A., & Scharf, R. (1973) Chronobiologic glossary of the International Society for the Study of Biologic Rhythms. *International Journal of Chronobiology*, **1**, 31–63.

Hanson, S. J., & Killeen, P. R. (1981) Measurement and modeling of behavior under fixed-interval schedules of reinforcement. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **7**, 129–139.

Harker, J. E. (1956) Factors controlling the diurnal rhythm of activity of *Periplaneta americana* L. *Journal of Experimental Biology*, **33**, 224–234.

Harker, J. E. (1958) Diurnal rhythms in the animal kingdom. *Biological Review of the Cambridge Philosophical Society*, **33**, 1–52.

Harker, J. E. (1960a) The effect of perturbations in the environment cycle of the diurnal rhythm of activity of *Periplaneta americana* L. *Journal of Experimental Biology*, **37**, 154–163.

Harker, J. E. (1960b) Internal factors controlling the suboesophageal ganglion neurosecretory cycle in *Periplaneta americana* L. *Journal of Experimental Biology*, **37**, 164–170.

Haney, R. R., Bedford, J. A., & Berryman, R. (1971) Schedule control in the whitenecked raven (*Corvus cryptoleucus*). *Psychonomic Science*, **23**, 104–105.

Hendry, D. P., & Dillow, P. V. (1966) Observing behavior during interval schedules. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **9**, 337–349.

Herrnstein, R. J. (1966) Superstition. In Honig, W. K. (Ed.), *Operant behavior: Areas of research and application*. Appleton-Century-Crofts. Pp. 33–51.

Hilgard, E. R., & Bower, G. H. (1975) *Theories of Learning* (Forth Edition.) Prentice-Hall.

Hineline, P. (1977) Negative reinforcement and avoidance. In Honig, W. K., & Staddon, J. E. R. (Eds.), *Handbook of Operant Behavior*. Prentice Hall, Pp. 364–415.

Hoagland, H. (1933) The psychological control of judgements of duration: Evidence for a chemical clock. *Journal of General Psychology*, **9**, 35–61.

Hoffmann, K. (1960) Experimental manipulation of the orientational clock in birds. *Cold Spring*

Hodos, W., Ross, G. S., & Brady, J. V. (1962) Complex response patterns during temporally spaced responding. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **5**, 473–479.

Hoffmann, K. (1957) Angeborene Tagesperiodik bei Eidechsen. *Naturwissenschaften*, **44**, 359–360. *Harbor Symposia on Quantitative Biology*, **25**, 379–387.

Holloway, F. A., & Wansley, R. A. (1973a) Multiphasic retention deficits at periodic intervals after passive avoidance learning. *Science*, **180**, 208–210.

Holloway, F. A. & Wansley, R. A. (1973b) Multiphasic retention deficits at periodic intervals after active and passive avoidance learning. *Behavioral Biology*, **9**, 1–14.

Holloway, F. A., Bird, D. C., Devenport, J., & Tapp, W. N. (1980). Effects of SCN lesions and feed/starve entrainment conditions on activity and retention performance rhythms. *Society for Neuroscience Abstracts*, **6**, 832.

Holz, W. C. & Azrin, N. H. (1963) A comparison of several procedures for eliminating behavior. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **6**, 399–406.

Holz, W. C., Azrin, N. H., & Ulrich, R. E. (1963) Punishment of temporally spaced responding. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **6**, 115–122.

Hoogenboom, E., Daan, S., Dallinga, J. H., & Schoenmakers, M. (1984) Seasonal change in the daily timing of behaviour of the common vole, *Microtus arvalis*. *Oecologia*, **61**, 18–31.

Hull, C. L. (1952) *A behavior system*. New Haven: Yale University Press. (能見義博訳 1971 行動の体系 誠信書房)

井深信男(1985) サーカディアン・システムの神経機構とその生理心理学. 心理学研究, **56**, 300–315.

Ibuka, N., & Kawamura, H. (1975) Loss of circadian rhythm in sleep wakefulness cycle in the rat by suprachiasmatic nucleus lesion. *Brain Research*, **96**, 76–81.

岩本隆茂(1978) マカク属サルにおける遅延選択行動と前頭葉背外側部の神経細胞のユニット活動 人文科学論集, **15**, 17–42.

岩本隆茂(1981) 時間弁別事態におけるオペラント反応におよぼす強化と非強化の影響 心理学評論, **24**, 286–305.

Iwamoto, T. (1981) The time series structure of operant responses in the DT-DRL shcedule of normal and septal lesioned rats. In Bradshaw, C. M., Szabadi, E., & Lowe, C. F. (Eds.) *Quantification of steady-state operant behabiour*. Elseview/North-Holland Biomedical Press, Pp. 377–380.

岩本隆茂(1982) 強化スケジュール 佐々木正伸編 現代基礎心理学5 学習I 基礎過程 東京大学出版会, pp. 115–149.

岩本隆茂(1984) 学習のメカニズム「からだの科学」別巻〈〈精神医学入門シリーズ〉〉第1巻こころとからだの科学 11-4 日本評論社 Pp. 85–95.

岩本隆茂・大久信雄(1974) シロネズミの DT-DRL 訓練と反応環境 日本動物心理学会第34回大会 動物心理学年報, **24**, 115–116.

岩本隆茂・高橋憲男(1976) シロネズミの DT-DRL におけるオペラント反応と collateral 行動におよぼす中隔損傷の影響 動物心理学年報, **26**, 73–86.

岩本隆茂・高橋雅治(1982) 戸田論文(1981)を読んで—オペラント心理学と認知心理学—心理学評論, **19**, 390–401.

岩本隆茂・高橋憲男(1983) 現代学習心理学 川島書店

岩本隆茂・高橋雅治(1984) 実験心理学は意識研究への回復するか—その実証的研究をめぐる諸問題—心理学評論, **21**, 21–36.

岩本隆茂・吉野 弘・川俣甲子夫(1984) 反応依存型強化スケジュールとその効用 人文科学論集, **21**, 1–58.

岩本隆茂・和田博美(1984) 行動薬理学の歴史とその最近の展開におよぼすオペラント心理学の貢献 人文科学論集, **22**, 53–83.

岩本隆茂・和田博美(1985 a) 行動薬理学の目的——オペラント心理学と薬理学——「オペラント行動の基礎と臨床」(岩本隆茂編集代表), Pp. 86-89. 川島書店

岩本隆茂・和田博美(1985 b) 時間弁別行動における生理心理学的機構の総合的研究 人文科学論集, **23**, 1-46.

Johnson, M. S. (1939) Effect of continuous light on periodic spontaneous activity of white-footed mice (*Peromyscus*). *Journal of Experimental Zoology*, **82**, 315-328.

川村 浩(1985) サーカディアンリズムのオッシレーターの概念 神経研究の進歩, **29**, 5-14.

Kendall, S. B. (1972) Some effects of response-dependent clock stimuli in a fixed-interval schedule. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **17**, 161-168.

Killeen,P. (1975) On the temporal control of behavior. *Psychological Review*, **82**, 89-115.

Kimble, G. A. (1961) *Hilgard and Marquis' conditioning and learning* (2nd ed.). Appleton Century Crofts, 1961.

Kinchal, J. (1970) Discrimisation of two auditory durations by pigeons. *Perception and Psychophysics*, **8**, 299-307.

Kinchla, J. (1972) Duration discrimination of acoustically defined intervals in the 1-to 8-sec range. *Perception and Psychophysics*, **12**, 318-320.

Kramer, T. J., & Rilling, M. (1968) Effects of timeout on spaced responding in pigeons. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **12**, 283-288.

Kramer, T. J., & Rilling, M. (1970) Differential reinforcement of law rates: A selective critique. *Psychological Bulletin*, **74**, 225-254.

Krieger, D. T. (1974) Food and water restriction shifts corticosterone, temperature, activity and brain amine periodicity. *Endocrinology*, **95**, 1195-1201.

Kuch, D. O. (1974) Differentiation of press duration with upper and lower limits on reinforced values. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **22**, 275-283.

桑原万寿太郎(1963) 動物と太陽コンパス. 岩波書店

LaBerge, D., Van Gelder, P., & Vellot, Jr., J. (1970) A cueing technique in choice reaction time. *Perception & Psychophysics*, **71**, 57-62.

Lane, H. (1961) Operant control of vocalization in the chicken. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **4**, 171-177.

Lavie, P., & Webb, W. B. (1975) Time estimation in a long-term time-free environment. *American Journal of Psychology*, **88**, 177-186.

Logan, F. A. (1977) Hybrid theory of classical conditioning. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*. Academic Press.

Logan, F. A. (1979) Hybrid theory of operant conditioning. *Psychological Review*, **86**, 507-541.

Macar, F., Vitton, V., & Reguin, J. (1976) Slow cortical potential shifts recorded in cats performing a time estimation task: preliminaly results. *Neurophysiology*, **14**, 353-361.

MacLeod, R. B., & Roff, M. F. (1936) An experiment in temporal orientation. *Acta Psychologica*, **1**, 381-423.

Maricq, A. V., Roberts, S., & Church, R. M. (1981) Methamphetamine and time estimation. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **8**, 165-186.

Maricq, A. V., & Church, R. M. (1983) The differential effects of haloperidol and methamphetamine on time estimation in the rat. *Psychopharmacology*, **79**, 10-15.

Marley, E., & Morse, W. H. (1966) Operant conditioning in the newly hatched chicken. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **9**, 95-103.

McGill, W. J. (1963) Stochastic latency mechanisms. In Luce, D., Bush, R. R. & Galanter, E.(Eds.),

Handbook of mathematical psychology Vol. **I**. Wiley.

Mechner, F., & Guevrekian, L. (1962) Effect of deprivation upon counting and timing in rats. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **5**, 463–466.

Meck, W. H. (1984) Attentional bias between modalities: Effect on the interval clock, memory and decision stages used in animal time discrimination. In Gibbon, J., & Allan, L. (Eds.), *Annals of the New York Academy of Science*, **423**, Timing and time perception.

Meck, W. H., & Church, R. M. (1982) Abstraction of temporal attributes. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **8**, 226–243.

Morse, W. H., & Kelleher, R. T. (1977) Schedules as fundamental determinants of behavior. In Schoenfeld, W. N. (Ed.), *The Theory of Reinforcement Schedules*, Appleton Century Crofts, Pp. 139–185.

Myers, R. D., & Meskers, D. C. (1960) Operant responding in a horse under several schedules of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **3**, 161–164.

中浜　博(1977)　DRL学習行動の定量化　動物心理学年報, **27**, 49–50.

Nakahama, H., Yamamoto, N. 1., Ishii, N., Fujii, H., & Aya, A. (1977) Dependency as a measure to estimate the order and the values of markov processes. *Biological Cybernetics*, **25**, 209–226.

Norman, M. F. (1966) An approach to free-responding on schedules that prescribe reinforcement probability as a function of interresponse time. *Journal of mathematical psychology*, **3**, 235–268.

Pavlov, I. P. (1960) *Conditioned reflexes*. Anrep, G. V. (Trans.) 2 nd Ed. Dover.

Piaget, J. (1969) *The child's conception of time*. Pomerance, A. J. (trans.) Random House.

Powell, R. W. (1972) Responding under basic schedules of reinforcement in the crow. *Journal of Comparative and Physioloical Psychology*, **79**, 156–164.

Reese, E. P., & Reese, T. W. (1962) The quail *Coturnix coturnix* as a laboratory animal. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **5**, 265–270.

Reynolds, G. S. (1964a) Temporally spaced responding by pigeons: Development and effects of deprivation and extinction. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **7**, 415–421.

Reynolds, G. S. (1946b) Accurate and rapid reconditioning of spaced responding. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **7**, 273–275.

Reynolds, G. S., & Limpo, A. J. (1968) On some causes of behavioral contrast. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **11**, 543–547.

Richardson, W. K., & Loughead, T. E. (1974) Behavior under large values of the differential-reinforcement-of-low-rate schedule. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **22**, 121–129.

Richelle, M., & Lejeune, H. (1980) *Time in Animal Behaviour*. Pergamon.

Rijnsdorp, A., S., & Dijkstra, C. (1981) Hunting in the kestrel, *Falco tinnunculus*, and the adaptive significance of daily habits. *Oecologia*, **50**, 391–406.

Roberts, S. (1981) lsolation of an internal clock. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **7**, 242–268.

Roberts, S. (1982) Cross-modal use of an internal clock. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **8**, 2–22.

Roberts, S., & Church, R. M. (1978) Control of an internal clock. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **4**, 318–337.

Robets, S., & Holder, M. D. (1984) What starts an internal clock? *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **10**, 273–296.

Roberts, S. K. (1966) Circadian activity rhythms in cockroaches, **III**. The role of endocrine and neural factors. *Journal of Cellular Physiology*, **67**, 473–486.

Rozin, P. (1965) Temperature independence of an arbitrary temporal discirimination in the goldfish. *Science*, **149**, 561–564.

Rubin, H. B., & Brown, H. J. (1969) The rabbit as a subject in behavioral research. *Journa of the Experimental Analysis of Behavior*, **12**, 663–667.

佐藤　創(1981)　見本時間つきDRLLを用いたネズミの時間弁別行動の研究　北海道大学文学部卒業論文.

Schneider, B. A (1969) A two-state analysis of fixed-interval responding in the pigeon. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **12**, 667–687.

Schull, R. L., Guilkey, M., & Witty, W. (1972) Changing the response unit from a single peek to a fixed number of pecks in fixed-interval schedules. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **14**, 353–361.

Segal, E. F. (1962) Exteroceptive control of fixed-interval responding. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **5**, 49–57.

Segal-Rechtschaffen, E. (1963) Reinforcement of mediating behavior on a spaced-responding schedule. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **6**, 30–46.

Sherman, J. F. (1959) The temporal distribution of responses on fixed interval schedules. Unpublished doctoral dissertation. Columbia University.

Sidman, M. (1953) Two temporal parameters in the maintenance of avoidance behavior by the white rat. *Journal of Comparative and Physioloical Psychology*, **46**, 253–261.

Sidman, M. (1966) Avoidance behavior. In Honig, W. K. (Es.), *Operant Behavior : Areas of Research and Application*. Prentice-Hall.

清水信一郎・岩本隆茂・吉野　弘・早瀬雅彦(1980)　シロネズミのDRLL行動の維持におよぼす各種薬物の効果. 日本動物心理学会第40回大会, 動物心理学年報, **30**, 40.

Skinner, B. F. (1938) *The behavior of organism*. Appleton Century Crofts.

Skinner, B. F. (1948) Superstition in the pigeon. *Journal of Experimental Psychology*, **38**, 168–172.

Skinner, B. F. & Morse, W. H. (1958) Sustained performance during very long experimental sessions. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **1**, 235–244.

Staddon, J. E. R. (1965) Some properties of spaced responding in pigeons. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior,* **8**, 19–27.

Staddon, J. E. R. (1977) Schedule-induced behavior, In Honig, W. K., & Staddon, J. E. R. (Eds.), *Handbook of Operant Behavior*. Prentice-Hall, Pp. 125–173.

Staddon, J. E. R., & Frank, J. A. (1975) Temporal control on periodic schedules: Fine structure. *Bulletin of the Psychonomic Society*, **6**, 536–538.

Stephan, F. K. (1981) Limits of entrainment to periodic feeding in rats with suprachiasmatic lesions. *Journal of Comparative Physiology*, **143**, 401–410.

Stephan, F. K. (1984) Phase shifts of circadian rhythms in activity entrained to food access. *Physiology and Behavior*, **32**, 663–672.

Stephan, F. K., & Sisk, C. L. (1979a) Anticipation of 24-hour schedules in rats with lesions of the suprachiasmatic nucleus. *Behavioral and Neural Biology*, **25**, 346–363.

Stephan, F. K., Swann, J. M., & Sisk, C. L. (1976b) Entrainment of circadian rhythms by feeding schedules in rats with suprachiasmatic lesions. *Behavioral and Neural Biology*, **25**, 545–554.

Stetson, M. H., & Watson-Whitmyre, M. (1976) Nucleus suprachiasmaticus: The biological clock in the hamster? *Science*, **191**, 197–199.

Stevenson. J. A. F., & Clayton, F. L. (1970) A response duration schedule: effects of training, extinction and deprivation. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **13**, 359–367.

Stubbs, D. A. (1968) The discrimination of stimulus duration by pigeons. *Journal of the Experimental*

Analysis of Behavior, **11**, 223–238.

Stubbs, D. A. (1976) Scaling of stimulus duration by pigeons. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **26**, 15–25.

Tapp, W. N., & Holloway, F. A. (1981) Phase shifting circadigan rhythms produces retrograde amnesia. *Science*, **211**, 1056–1058.

Todd, G. E., & Cogan, D. C. (1978) Selected schedules of reinforcement in the black-tailed prairie dog (*Cynomys ludovicianus*). *Animal Learning and Behavior*, **6**, 429–434.

Treisman, M. (1963) Temporal discrimination and the indifference interval : Implications for a model of the "internal clock". *Psychological Monographs*, **77**, 1–31.

宇尾淳子(1977) 昆虫の行動リズムを支配する体内時計の構造。遺伝, **31**, 39–45.

Urbain, C., Poling, A., & Thompson, T. (1979) Differing effects of intermittent food deliery on interim behavior in guinea pigs and rats. *Physiology and Behavior*, **22**, 621–625.

和田博美・岩本隆茂(1985) ネズミの時間弁別行動における生理心理学的機構 心理学評論 **28**, 204–234.

和田博美・吉野 弘・岩本隆茂(1982a) 見本時間つき DRLL と mult DRLL におけるネズミの時間弁別行動 I：反応数・強化数におよぼす向精神薬の効果 日本動物心理学会第 42 回大会, 動物心理学年報, **32**, 48.

和田博美・吉野 弘・岩本隆茂(1982b) 見本時間つき DRLL と mult DRLL におけるネズミの時間弁別行動 II：反応潜時におよぼす向精神薬の効果 日本基礎心理学会第 1 回大会, 基礎心理学研究, **1**, 126.

Waller, M. B. (1961) Effects of chronically administered chlorpromazine on multiple schedule performance. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **4**, 351–359.

Weiss, B. & Laties, V. G. (1965) Reinforcement schedule generated by an on-line digital computer. *Science*, **148**, 658–661.

Weiss, B., Laties, V. G., Siegel, L. L., & Goldstein, D. (1966) A computer analys is of serial interactions in spaced responding. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **9**, 619–626.

Witoslawski, J. J., Anderson, R. B., & Hanson, H. M. (1963) Behavioral studies with a black vulture, *Coragyps atratus*. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **6**, 605–606.

Wolf, M., & Bear, D. M. (1963) *American Psychologist*, **18**, 444.

吉野 弘・岩本隆茂(1979) ヒトの時間弁別課題時における"迷信行動"の発達 北海道心理学研究 **2**, 9–14.

吉野 弘・川俣甲子夫・岩本隆茂(1980) 複合強化スケジュールにおけるヒトの時間弁別行動とそのモデル Hokkaido Behavioral Science Report, Series P Supplement No. 19, 1–26.

Zeiler, M. D. (1968) Fixed and variable schedules of response independent reinfororcemnt. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **11**, 405–414.