ハトの短期情報処理過程¹

東京大学 半 田 智 久

Short-term information processing in pigeons

Motohisa Handa (*Department of Psychology, Faculty of Letters, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113*)

The effect of the length of delay interval on short-term retention was investigated in seven pigeons using delayed matching-to-sample task with three color stimuli; red, green and blue. The delay duration was changed as a function of performance accuracy by a titration method. The main results were as follows: (a) The percentage of incorrect responses did not increase as a function of delay intervals up to 4 s. (b) About 70% of all incorrect responses occurred on trials in which comparison stimuli were blue and green (The percentage of correct responses on these trials was about 60%). The main cause of incorrect responses in delayed matching-to-sample, and the nature of short-term information processing in pigeons were discussed.

Key words: information processing, short-term memory, interference, delayed matching-to-sample, pigeons.

動物による短期記憶の実験には、しばしば遅延見本合わせ課題が用いられる。この課題では、まず、見本刺激を短期間提示したのち遅延期間を挿入し、次に2つの比較刺激を提示する。比較刺激の一方は見本刺激と等しい刺激であり、もう一方は、見本刺激と異なる刺激である。そして、見本刺激と等しい刺激の方を選択すれば正反応とする。したがって、正反応遂行にあたっては、見本刺激の情報を遅延期間中保持しておく必要がある。この課題が、ハトやサルなどの短期記憶研究にしばしば用いられる理由は、遅延期間の長さや見本刺激の提示時間の統制、あるいは干渉刺激の提示などが比較的容易、かつ厳密に行えるからである。

これまでの研究では、遅延期間の延長に伴い、正反応率の低下が認められている。ことに、ハトでは0秒から1秒、2秒の変化で正反応率が大きく低下することが見出されている。このことから、保持時間経過に伴う記憶痕跡の減衰が、正反応率の低下をもたらすという考え方が提起されている (Grant, 1975; Grant & Roberts, 1973; Roberts & Grant, 1976)。しかし、比較的短い遅延期間での記憶痕跡減衰に関しては、いくつかの疑問点がある。その第1にあげられるものが遅延期間の設定方法である。たとえば、いくつかの遅延期間をセッション内で変化させる実験 (Moise, 1976; Roberts, 1972)

やセッション間で変化させる実験 (Etkin & D'Amato, 1969; Sacks, Kamil, & Mack, 1972) があるが、そのように遅延期間が急激に変化すると、反応遂行や事象の生起時間のタイミングも同じように変動することになる。その結果、保持情報の衰退という問題とは別に、より長い遅延期間での反応遂行は、短い遅延期間での反応遂行に比較して、阻害される可能性が高くなる。したがって、遅延見本合わせ課題を用いて短期の情報保持過程の性質を検討するには、遅延期間の急激な変化を避けることが望ましいと考えられる。そこで、反応の正誤に基づきタイトレイション法 (titration method) で遅延期間を変化させる方法が注目される。これまでにタイトレイション法を用いた遅延見本合わせ実験は、サルを用いて行われている (Jarrard & Moise, 1970; Mello, 1971; Scheckel, 1965)。しかし、ハトにおいて、この方法を適用して行われた実験例はない。そこで、本実験では、ハトを用い、タイトレイション法により遅延期間を変化させる遅延見本合わせを行い、遅延期間の延長に伴う急激な正反応率の低下が、保持情報の衰退に基づくものであるのか否かを検討した。また、遅延見本合わせの遂行に影響を及ぼす要因としては、遅延期間の長さ以外にもさまざまなものが考えられる。たとえば、試行間干渉がその1つである。これに関して本実験では、長短2つの試行間間隔の条件を設定することにより検討を試みた。また、用いた刺激間の弁別度の難易が、遅延期間の長さとかかわりなく遅延見本合わせの遂行に影響を及ぼすことも考えられる。そのため、本実験では、赤色、

¹ 本論文の作成にあたり、懇切な御指導を頂きました東京大学文学部二木宏明助教授と貴重な御意見を数多く頂きました京都大学霊長類研究所小嶋祥三助手に厚く感謝致します。

緑色、青色の3色光を刺激として用い、それぞれの組合わせにより、3つの類似性の異なる比較刺激対ができるようにした。そして、刺激の類似性による誤反応の出現パターンを分析することにより、遅延期間延長に伴う誤反応の出現を記憶痕跡の衰退により説明することの妥当性について検討した。

方 法

被験体

実験経験のないデンショバト (*Columba livia domestica*) 7羽を用いた。実験中は安定体重の80%(±5%)に体重統制を行った。

装置

実験装置にはスキナー箱 (Lehigh Valley Electronics 製: 縦 35 cm, 横 30 cm, 高さ 36 cm) を用いた。スキナー箱内前面のパネルには直径 3 cm の半透明プラスチック製の円形反応キーが3つ、横1列に並んでいる。これらのキーにはインラインプロジェクター (Industrial Electronics Engineering 製) で色光刺激 (赤・青・緑) が提示される。中央キーの下にはエサ提示窓がある。実験中、スキナー箱内の照明は点灯しない。また、背面につけられた換気扇は常時作動している。実験の制御とデータの収録にはマイクロコンピューター (SORD M 100 ACE) が用いられた。

手続き

予備訓練 中央キーに対する反応シェイピング後、中央キーに対する反応を連続強化する訓練を1セッション60試行行った。強化は配合飼料の3秒間提示である。以下、強化条件は全て同じである。次に、3つのキーの中の1つに、赤、青、緑いずれかの刺激をランダムに提示し、その刺激に対して反応する訓練を3セッション行った。続いて、中央キーに3色光中いずれかの刺激を提示する。その刺激に対する反応で左右のキーに同色の刺激を提示し、そのどちらかの刺激に対する反応を強化する訓練を84試行1セッション行った。

見本合わせ訓練 以上の予備訓練終了後、まず、同時見本合わせ訓練に入った。この訓練の試行では、中央キーに赤、青、緑いずれかの見本刺激が提示される。その刺激に対する反応 FR (Fixed-Ratio) 3で左右のキーに比較刺激が提示される。中央の刺激は提示されたままである (同時条件)。比較刺激は一方が見本刺激と同じ色光であり、他方が見本刺激と異なる色光である。見本刺激と同じ色光の比較刺激に反応した場合、これを正反応として強化する。見本刺激と異なる色光の比較刺激に対する反応は誤反応で、3秒間の time out (強化も刺激の提示もない) を与えた。強化、または time out のあと、試行間間隔5秒を経て次の試行に移る。ただし、誤反応の場合には、次の試行で提示刺激条件の同じ試行が

再び繰り返される (矯正法)。1セッションは60強化で、正反応率が3セッション連続80%以上に達するまで行い、次の訓練に移った。各刺激の出現順序と正反応の左右位置はランダムであるが、同じ正刺激、同じ正反応位置は3試行以上連続して出現しないよう留意した。また、12試行を1単位とし、その単位内での各刺激の出現頻度と正反応の左右位置は、同率になるように設定した。

以上のような矯正法訓練終了後、同時見本合わせの非矯正法訓練を行った。この訓練では誤反応が生じても同じ試行は繰り返されず、次の試行に進む。その他の点は矯正法訓練と同じである。1セッションは84試行で、訓練完了規準は3セッション連続して正反応率が80%を越えるまでとした。これ以後の手続きは全て非矯正法を用いた。非矯正法による同時見本合わせ訓練完了後、ゼロ遅延見本合わせ訓練に入った。この訓練では、見本刺激への反応 (FR 3) が行われると見本刺激は消え、それと同時に比較刺激が提示される。試行間間隔は7秒とし、訓練完了規準も含め、他の条件は同時見本合わせと同じである。

遅延見本合わせテスト テスト1: ゼロ遅延見本合わせ訓練完了後、遅延見本合わせのテストに入った。このテストでは、見本刺激と比較刺激の各提示期間の間に挿入する遅延期間を反応の正誤に基づくタイトレイション法により変化させた。毎セッション、試行はゼロ遅延で開始するが、2試行連続して正反応があると遅延期間を0.25秒増加させ、誤反応1回で遅延期間を0.25秒減少させる。したがって正反応が連続すれば遅延期間は最大値で、10.5秒になる。他の条件は、ゼロ遅延見本合わせ訓練と同じで、50セッション行った。

テスト2: テスト1の7個体の中から任意に選択した4個体について、試行間間隔を20秒に延長し、テスト1と同様の遅延見本合わせを10セッション行った。テスト2は、テスト1の最終10セッションと一日おきに交互に行い、テスト2のデータにテスト1完了後の練習効果が生じないよう配慮した。

結 果

見本合わせ訓練

全ての被験体について、同時見本合わせ矯正法訓練開始後、8—10セッションの間に正反応率が大きく上昇した。その後、成績上昇は、ややゆるやかになり、訓練開始から同時見本合わせ非矯正法訓練の完了規準に達するまで、最も早い個体で15セッション、最も遅い個体で30セッション、平均23セッションであった。

ゼロ遅延見本合わせ訓練への移行では、2個体について移行直後にやや成績の低下がみられた。しかし、これらの個体は、4—5セッションで正反応率80%以上のレ

ベルに回復した。他の個体は移行による成績低下は示さず、高い精度の反応を維持した。

遅延見本合わせテスト

テスト 1 テスト 1 により得られた遅延上限値と誤反応の出現に関する結果を以下に示す。

遅延上限値：タイトレイション法により求められた遅延上限の一指標として、平均上昇上限値 (average ascending limit: Scheckel, 1965) を用いた。本実験では前述したように、正反応が 2 試行連続すると次の試行では遅延期間が 1 段階 (0.25 秒) 上昇するが、その上昇した試行で誤反応が生じた場合、直前の試行での遅延期間を上昇上限値と定め、1 セッション中の上昇上限値を各セッションごとに平均した値が平均上昇上限値である。最終 5 セッションにおける平均上昇上限値の平均点のレンジは、1.38—3.32 秒であった。この最低、最高値を示した 2 個体のデータについて、Fig. 1 にセッション進行に伴う平均上昇上限値の推移を示した。他の 5 個体の平均上昇上限値の推移は、この両者のほぼ中間に位置し、50 セッションを通じて成績の上昇傾向を示した。最終 10 セッションにおける全被験体の平均上昇上限値は、2.17 秒であった。

Fig. 2 には、セッション内でのパフォーマンスの例を

Fig. 1. The transition of average ascending limit of delay of subject #22 and #31.

示すために、Fig. 1 に示した 2 個体の最終セッションにおける遅延期間の変化の様子を表わした。横軸は試行数、縦軸は遅延期間を示している。最も成績のよかった個体 (#22) は、図から明らかなように、1 セッション中、遅延期間の長短にかかわらず、いくつかの誤反応をしながら、ほぼ直線的に遅延期間を上昇させている。また、7 個体中、最も成績の低かった個体 (#31) のパフォーマンスには、一様の伸びは認められないが、セッション後半には成績の上昇傾向がみられた。このことは、セッション前半で多発している遅延期間 1 秒以下の誤反応が単に保持情報の忘却に基づくものではないことを推測させる。

誤反応: Fig. 2 で示したように、1 セッション中でのパフォーマンスの様子をみると、誤反応が遅延期間の長短にかかわらず発生していることに気づく。そこで、誤反応発生の様子を刺激別に検討した結果が Fig. 3 である。この図では、3 つの刺激対 (緑と青、青と赤、赤と緑) のそれぞれについて、全被験体の誤反応率を各遅延期間別に示してある (最終 10 セッションのデータで、刺激対の出現頻度は等しい)。それぞれ縦軸は誤反応率、横軸は遅延期間を表わしている。各遅延期間の度数は、タイトレイション法の変動により一定ではない。しかし、この度数について各刺激対の間には、どの被験体の場合も有意差が認められなかった (フリードマンの検定: $\chi^2=0.14-2.18$, $df=2$)。それぞれの刺激対について、各遅延期間の試行数が全体の試行数の 3% に満たない場合 (度数 8 以下) は、そのデータを除外した。各被験体ともグラフに示した遅延期間の範囲より長い遅延期間において反応遂行を行ったが、上記の制限により除いた。この図から明らかなように、どの被験体においても、1 試行において出現する刺激が緑と青の場合は、遅延の長さにかかわらず 30—50% の率で誤反応の出現する傾向が認められた。遅延期間の長さに基づき、前半、後半に 2 分割し、その両者間の差を検定したところ、#22 において遅延期間の長い方が有意に誤反応率の高いことが認められた (ウィルコクソンのサインラン

Fig. 2. Performance records of subject #22 and #31 in last session of test 1.

Fig. 3. Percentage of errors (incorrect responses) as a function of delay interval in test 1 (G : green, B : blue, R : red, ∇ : eliminated data that were below 3% of total trials).

ク検定: $T_{cal}=8$, $p<.05$) が, 他の 6 個体には遅延期間の長短で誤反応率に差は認められなかった. 一方, 赤と緑, あるいは赤と青の刺激対が出現する試行では, 誤反応率がどの被験体においても一様にきわめて低い傾向にあった. また, 遅延期間の長さについて長短 2 分割して両者の差を検定したところ, 赤と緑の刺激が出る試行において, # 22 に遅延期間の長い方が有意に誤反応率の高いことが認められた (ウィルコクソンのサインランク検定: $T_{cal}=0$, $p<.05$) が, その他の場合では, 遅延期間の長さと誤反応率の推移に一定の関係は認められなかった. 誤反応率を出現刺激対間についてみると, 緑と青の刺激が出現する試行と緑と赤の刺激が出現する試行間には, 全ての被験体において誤反応率に有意差が認められ (ウィルコクソンのサインランク検定: $T_{cal}=0-1$, $p<.0005-.005$), 緑と青の刺激が出現する試行と赤と青の刺激が出現する試行間にも, すべての被験体において誤反応率に有意差が認められた (ウィルコクソンのサインランク検定: $T_{cal}=0-3$, $p<.0005-.005$). また, 誤反応が少なかった緑と赤の刺激が出現する試行と青と赤の刺激が出現する試行間については, # 24 と # 30, および全体合計において誤反応の有意差が認められた (ウィルコクソンのサインランク検定: # 24, $T_{cal}=1.5$, $p<.005$; # 30, $T_{cal}=13$, $p<.025$; 全体, $T_{cal}=1.5$, $p<.0005$).

テスト 2 Table 1 に, 試行間間隔 10 秒のテスト 1 と試行間間隔 20 秒のテスト 2 における, 最終 5 セッションの平均上昇上限値の平均値と範囲を個体別に示した. Fig. 4 には平均上昇上限値のセッション進行に伴う推移を全個体の平均値で示した. 黒四角で示したグラフは試行間間隔 10 秒の条件, 白四角で示したグラフは試行間間隔 20 秒の条件である. これらの表と図から明らかのように, 試行間間隔を 10 秒から 20 秒に延長することによって, 平均上昇上限値は有意な増大を示した (ウィルコクソンのサインランク検定: $T_{cal}=50$, $p<.05$). テスト 2 における個々の上昇上限値についてみると, 最高値は 7 秒であった. 誤反応の出現傾向に関してはテスト 1 と同じ傾向が認められた.

考 察

本実験では, ハトを被験体にして, 赤, 青, 緑の色光刺激を用いた遅延見本合わせを行った. 遅延期間は反応の正誤に基づくタイトレイション法により変化させた. これは, 試行間, あるいはセッション間での遅延期間の急激な変化を避けるためであった. 冒頭で述べたように入力した情報は保持期間中に, 記憶痕跡の減衰というかたちで急速に弱まるとする説 (e. g., Roberts & Grant, 1976) がある. この説によれば, ハトの場合, 保持情報の減衰はごく短い遅延期間 (0—2, 3 秒) で急速に生じ

Table 1
Average ascending limit of delay (s) for each subject in test 1 and test 2

	ITI 10 (test 1)		ITI 20 (test 2)	
	Mean	Range	Mean	Range
# 22	3.32	2.97—3.69	4.18	3.22—4.50
# 24	1.64	1.09—2.19	1.70	0.65—2.64
# 28	1.45	0.89—2.33	2.10	1.22—2.72
# 30	2.07	1.70—2.57	2.23	1.44—3.35
Mean	2.12		2.55	

るという. そして, これを短期記憶に特有の過程として位置づけている. もし, これが正しいとすれば, 本実験においても, 誤反応は遅延期間が 0 秒から次第に長くなるにつれて, より顕著に出現したはずである. ところが, 本実験の結果では十分な訓練を経たのもであって, 0 秒から 4 秒の範囲では, どの遅延期間 (0.25 秒刻み) においても, ほぼ同頻度の誤反応が発生する傾向が見出された. これは, 遅延期間の試行間, あるいはセッション間における急激な変動を避ければ, 少なくとも 4 秒の遅延期間までは, 遅延の長さと誤反応の発生に直接的な関係が見出されないことを示している. このことから, 入力した情報は, 0—4 秒の保持期間中に受動的な減衰を示すことはないかと推測される. そして, この結果は, 保持期間中に能動的な情報のリハーサルが行われているとする説 (Grant, 1981; Stonebraker & Rilling, 1981) を間接的に支持する.

短い遅延期間では, 保持情報の減衰が認められないとすれば, 本実験のテスト 1 で平均上昇上限値が, 2.17 秒にとどまった原因は, 見本刺激の入力段階, あるいは比較刺激との照合段階にあったと考えられる. 各試行に出現する刺激の組み合わせ別に誤反応率をみると, 全誤反応の 70% が, 青と緑の出現する試行に集中していた. このことから, 被験体が見本刺激の入力段階において, 青と緑

Fig. 4. Average ascending limit of delay in test 1 (ITI 10: closed squares) and test 2 (ITI 20: open squares).

を“赤以外”という1つの範疇に含め、“赤か、赤以外か”という情報抽出をしていた可能性も考えられる。もし、そうであるならば、赤と青の出現する試行と赤と緑の出現する試行間には、誤反応率に差が認められないはずである。ところが、両者を比較すると、前者の方が後者より誤反応率が有意に高い傾向にあった(#24と#30, および全体合計)。これは、赤と青の方が、赤と緑よりも類似していた結果であると考えられる。したがって、見本刺激の入力段階において、赤、青、緑、それぞれの情報は分化されていたと考えられよう。

以上より、誤反応の主要因は、情報の入力段階、あるいは保持期間中よりも、比較刺激との照合段階にあった可能性が高い。そして、その主要因と考えられるのは、保持情報の変容である。本実験を含め、通常の見本合わせ課題では、2つの比較刺激が同時に提示される。被験体は、そのうち一方の刺激に先に注意を向ける。これは、実験中の観察からも明らかである。先に注意を向けた刺激が保持情報と異なる場合、被験体は他方の刺激に注意を転換する。ここで問題になるのは、先に注意を向けた比較刺激が負刺激で、しかも保持情報に類似していた場合である。こうした状況では、たとえ情報をほぼ入力時のままに保持していても、照合段階で新たに入力した現存する比較負刺激が、保持情報を変容させてしまう可能性が高い。これは、“不一致という確からしさの消失”ともいえる状況である。1セッションにおいて、どの再認項目も同じ率で正刺激になり、しかも、その項目が少数である場合(本実験では3つ)、類似項目間での照合には、新入力情報(比較負刺激)による保持情報の変容-同化が生じる可能性が高いと考えられる。これは、一種の再認リストの項目間干渉ともいえよう。

もちろん、保持時間が長くなるにつれ(最低4秒以上)、保持情報の何らかの衰退は起こると考えられる。しかし、見本合わせに代表されるような再認課題では、保持情報の衰退いかにかわらず、選択時の項目間干渉が誤反応発生の主要因として、反応遂行により大きな影響を及ぼしているものと推測される。また、この干渉には、項目間の類似性のみならず、直前試行の正刺激と当該試行の出現刺激との関係や直前試行での強化の有無なども関係していると考えられる。これは、本実験のテスト2において、試行間間隔を10秒から20秒に延長した結果、平均上昇上限値が有意に上昇したことから支持される。ただし、その上昇の程度はわずかであったことから、直前試行からの干渉は、誤反応を導く副次的要因として作用していると考えられる。

なお、試行ごとの急激な遅延期間の増減を避ける目的で、タイトレイション法による遅延期間の調整を行ったこと、また、刺激の類似度の差が誤反応発生に及ぼす影

響をみるために弁別度の異なる3つの刺激対を用いたことなどから、本実験は従来の実験に比較すると幾分特殊な条件下にあったことを再記しておく。

引 用 文 献

- Etkin, M., & D'Amato, M.R. 1969 Delayed matching-to-sample and short-term memory in the capuchin monkey. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, **69**, 544-549.
- Grant, D.S. 1975 Proactive interference in pigeon short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **104**, 207-220.
- Grant, D.S. 1981 Stimulus control of information processing in pigeon short-term memory. *Learning and Motivation*, **12**, 19-39.
- Grant, D.S., & Roberts, W.A. 1973 Trace interaction in pigeon short-term memory. *Journal of Experimental Psychology*, **101**, 21-29.
- Jarrard, L.E., & Moise, S.L. 1970 Short-term memory in the stump-tail macaque: Effect of physical restraint of behavior on performance. *Learning and Motivation*, **1**, 267-275.
- Mello, N.K. 1971 Alcohol effects on delayed matching-to-sample performance by rhesus monkey. *Physiology and Behavior*, **7**, 77-101.
- Moise, S.L. 1976 Proactive effects of stimuli, delay, and response position during delayed matching-to-sample. *Animal Learning and Behavior*, **4**, 37-40.
- Roberts, W.A. 1972 Short-term memory in the pigeon: Effects of repetition and spacing. *Journal of Experimental Psychology*, **94**, 74-83.
- Roberts, W.A., & Grant, D.S. 1976 Studies of short-term memory in the pigeon using the delayed matching-to-sample procedure. In D.L. Medin, W.A. Roberts, & R.T. Davis (Eds.), *Processes of Animal Memory*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates. Pp. 79-112.
- Sacks, R.A., Kamil, A.C., & Mack, R. 1972 The effects of fixed ratio sample requirements on matching-to-sample in the pigeon. *Psychonomic Science*, **26**, 291-293.
- Scheckel, C.L. 1965 Self-adjustment of the interval in delayed matching. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, **59**, 415-418.
- Stonebraker, T.B., & Rilling, M. 1981 Control of delayed matching-to-sample performance using directed forgetting technique. *Animal Learning and Behavior*, **9**, 196-201.

—1983.3.16. 受稿, 1984.5.12. 受理—