資料

ハイビジョンモニタにおけるハトの近視野視力の測定¹

慶應義塾大学 古屋 泉

Pigeons' Near-Field Visual Acuity for Hi-Vision Video Monitor

IZUMI FURUYA

Department of Psychology, Faculty of Letters, Keio University

2-15-45, Mita, Minato-ku, Tokyo 108 Japan

Abstract The near-field visual acuity in three pigeons was measured in apparatus that employed a Hi-Vision Video monitor (HDTV) as a stimulus-display device. The pigeons' visual acuity for the standard NTSC video display has not been examined because of its low picture resolution. The spatial resolution of Hi-Vision video system (1125 lines/display) was higher than that of NTSC system (525 lines/display). Pigeons were trained to discriminate a grating stimulus from a blank stimulus of equivalent luminance. The stimuli were presented on the Hi-Vision display behind the transparent keys. A peck on the grating key was reinforced. The distance from the stimulus to the eye was determined by a method of behavioral fixation. The spatial frequency of grating stimuli was varied in each session according to the performance of discrimination. Thresholds ranged from 3.9 min to 11.7 min. These psychophysical data were approximate to the acuity measured with the photographic projection systems. These results suggest that Hi-Vision video display permits sufficient spatial resolution for measuring the pigeons' near-field visual acuity.

Key words visual acuity, Hi-Vision, pigeon, behavioral fixation

ハトの視力すなわち視覚的な空間分解能は、以前よりさまざまな方法によって測定されてきた (Catania, 1964; Chard, 1939; Gundlach, 1933; Hamilton & Goldstein, 1933)。これら研究において白黒の縞刺激の提示には、カードボード (Gundlach, 1933; Hamilton & Goldstein, 1933) やプロジェクター (Blough, 1971; Bloch & Martinoya,

1982; Chard, 1939; Hodos, Leibowitz, & Bonbright, 1976) などが用いられた。これは、それぞれの研究の当時の最も一般的な刺激提示装置における視覚的な空間解像力が、研究の基礎データとして要求されたためだろう。

現在の実験室で最も一般的な視覚刺激提示装置はビデオモニタであり、この装置における空間分解能は必須の基礎データである。しかし、これを検討した研究は行なわれてこなかった。ビデオモニタ上の視力が測定されなかったことの最も大きな理由の一つは、通常方式のテレビジョン画面の解像度が、垂直方

¹本研究は農林水産業特別試験研究「鳥類の視覚測定と摂食行動の視覚的統制」の一部として行われた。

向で525本（NTSC方式）と比較的低く、ハトの視力の測定に十分な空間解像度を得にくいためである。近年用いられるようになったハイビジョン方式の伝送においては、垂直方向1125本、水平方向2200サンプリングと、従来の伝送方式に比較して良好な空間解像度を得ることが可能となった。この性能は視力測定の提示装置としての必要条件を十分に満たすものである。

本研究は、ハイビジョン方式ビデオシステムが、ハトの視力測定の刺激提示装置として十分な空間解像力を持ち得るかどうかを検討したものである。

本研究で視力測定を行なったのは、近視野とよばれる頭部正面の30°程度（眼球の回転により80°程度までは拡大する）の比較的せまい両眼視野である。これは、近い物体を距離情報とともに見るためのものとされ、通常のキイツつきを用いたオペラント実験場面において、ハトが主に使用していると予測される（Hodos, 1993; Martin, 1993）。この近視野視力を、スライドプロジェクターを刺激提示装置として測定した研究では、Hodos et al. (1976) の1.9 min, Bloch & Martinoya (1982) の8.5 min, 古屋 (1984) の8.0 minなどの値が得られている。これらの研究は、ハトの近視野における視力が、ヒトの標準的な視力1.0 minより劣っていることを示している。得られた視力の値が研究によって異なる理由としては、用いた刺激の平均輝度の違いや、縞刺激のコントラストの違いが指摘できる。本研究で用いたビデオモニタの刺激提示装置としての利点のひとつは、輝度やコントラストを容易に制御できることである。特に、視力において重要な変数となるコントラストについては、黒色部分の輝度を零付近に保つことも可能であり、100%に近いコントラストが期待できる。

方 法

被験体 実験歴のないデンショバト (*Columba livia*) 3個体。実験中すべての個体は安定体重の75~80%に体重統制されていた。

装置 ハト用オペラント箱。内部の大きさは30 cm×30 cm×30 cm。正面パネルおよび天井はアルミ板、その他の壁面は透明アクリル製、床面はステンレスのメッシュ製であった。

正面パネルには、床面から20 cm（中心までの）位置に、直径1.6 cmの反応用の透明アクリル製の円形キイが2つ、5.5 cm間隔（中心-中心）で設置された。

キイの背面には、9インチ白黒ハイビジョン・ピクチャー・モニタ（Ikegami, PM-232HA）が設置されている。被験体は、モニタ上に提示される刺激をキイ越しに観察することになる。キイの背面からモニタ画面までの空間には、内径3 cmの円筒が設置され、キイの一方に提示された刺激は他方のキイからは観察できない。

被験体の頭部の位置を感知し、観察反応として用いるために、両側面パネルの高さ21 cm、前面パネルから10 cmの位置に光電センサー（オムロン, E3JK）が取り付けられていた。光電センサーの突出は各側面パネルから6 cmであった。また光電センサー受光部から刺激提示面までの距離は16 cmであった。

正面パネル中央の床面に接して、高さ5 cm、幅3.5 cm、奥行き4 cmのフィーダーの開口部がある。フィーダーの作動時には、開口部奥上方に取付けられたランプ光が提示され、アサの実の摂取が可能となる。

また刺激の提示にはプログラマブルビデオジェネレーター（リーダー電子, 1603 A）を用い、走査線単位精度で刺激を提示した。以上

の装置は、MSX2+マイクロコンピュータ(サンヨー, PHC-70FD)で制御された。また、オペラント装置は木製のボックスに収納されており、実験中は木製のボックスの外部より白色雑音を提示した。

刺激 視力測定のための刺激としては、モニタ上に提示される白黒等間隔の縞パターン刺激と、これと平均輝度の等しい灰色刺激を用いた。縞パターンは横縞で、最も細かい縞の幅すなわち白黒各部分の幅はモニタ上で0.18 mmであった。実験に用いられた縞刺激は、この0.18 mmと、0.36, 0.54, 0.72, 0.91, 1.09, 1.27, 1.45 mmの8種類であった。ハトが光電センサー部から刺激提示画面を観察した場合、画面上で0.18 mm~1.45 mmまでの8種類のそれぞれの縞パターン幅は、ハトの視角としては3.9, 7.8, 11.7, 15.6, 19.4, 23.3, 27.2, 31.1 minに相当した。すべての刺激の平均輝度は、灰色刺激も含めて54.0 cd/m²で統一された。また黒部分と白部分のコントラストも刺激間で理論上同一であり、100%に近い値が期待できた。コントラストの実測も試みたが、黒部分の輝度は測定不能であった(ミノルタ, CS-100を使用)。このため、刺激のコントラストは実際も極めて高い値といえた。また使用した灰色刺激とは、各走査線上に0.18 mm幅の白黒部分を交互に提示したもので、正確には0.18 mm角の白と黒の正方形が並ぶチェッカーパターンである。これらの刺激はプログラマブルビデオジェネレーターによって発生されており、走査線単位の精度が保証されていた。すなわち水平方向は画面サイズ175 mmで有効サンプル数1920、よって精度は0.091 mm、垂直方向は画面サイズ98 mmで有効走査線数1035、よって精度は0.095 mmであった。

訓練 ハンドシェイピングによってキイツきを獲得したハトは、2つのキイそれぞれに反応する訓練を受けた。

このキイツき訓練の終了後、縞刺激と灰色刺激の弁別訓練に入った。ここで用いた縞刺激は、最も粗い1.45 mm間隔であった。試行は、左右のキイ越しに刺激が提示されることで開始された。刺激は、一方に縞刺激、他方に灰色刺激が提示された。ハトが縞刺激提示キイに1回反応すると(正反応)、フィーダーが4秒間作動し餌強化となる(FR1スケジュール)。餌強化後は、刺激の提示が停止される試行間間隔に入る。試行間間隔中は、DRO2秒スケジュールが導入され不必要な反応は消去された。ハトが灰色刺激提示キイに反応した場合(誤反応)、10秒間刺激の提示が停止されるブラックアウトとなり、続いて試行間間隔に入った。このブラックアウトと試行間間隔に引き続いて矯正試行が行われた。矯正試行では正反応時のフィーダー動作が0.5秒間となるが、それ以外の手続きは通常の試行と同一であった。また、縞刺激と灰色刺激の左右位置は、試行ごとにグラマン系列によって擬似ランダムとされた。

この弁別訓練は1日1セッション、60試行行なわれた。この訓練において、正答率が80%以上のセッションが2日連続した場合、弁別が完成したものとして、次の観察反応の訓練に入った。

観察反応の訓練は、ハトがセンサー位置付近に頭部を位置させた場合に、刺激を提示して目的の行動を形成する漸近法を用いたハンドシェイピングで行なった。刺激提示以外の手続きは、前の弁別訓練と全く同様であった。最終的に、ハトがキイ方向にくちばしを向けて、眼の位置をセンサー受光部に位置させる観察反応を形成した。この観察反応は、頭部の位置を行動的に固定し、ハトの刺激観察距離を一定に保つための手続きである。

試験 観察反応の形成後、視力の測定が開始された。手続きは、観察反応が付加された以外弁別訓練と同じである。ただし誤反応後

に矯正試行は導入されなかった。試験は31.1 minの縞刺激から開始され、セッションワイズトラッキング法で縞刺激を提示した。刺激推移の基準は以下の通りである。1セッション60試行の試験において、正答率が80%以上の場合、弁別基準を満たしているものとして、次セッションでは縞刺激の1段階細かいものを使用した。正答率が70%以上80%未満の場合は、弁別が確実でないとして、次セッションでも同じ縞刺激を使用した。正答率70%未満の場合は、弁別ができなかったものとして、次セッションでは縞刺激の1段階粗いものを使用した。したがって、ハトが縞刺激と灰色刺激の弁別が可能な間は、セッション毎に縞刺激刺激が順次に細かいものに推移する。縞刺激と灰色刺激の弁別が不可能になると、縞刺激は粗いものに移行する。したがって、最小分離閾が使用した縞刺激の中間にあれば、2つの縞刺激間でセッションが繰り返されることになる。また、最小分離閾が使用した縞刺激そのものであれば、その縞刺激が連続したセッションで使用され続ける。閾値としては、前者の場合は繰り返された縞刺激の中間の値とみなし、後者の場合は連続で維持された縞刺激の値とみなした。

結 果

3羽のハトは、6～8セッションで縞刺激と灰色刺激の弁別訓練を完了した。弁別完成後の観察反応の訓練においては、全ての被験体が、頭部を正面パネル向きでセンサー受光位置に位置させる観察反応を1セッション以内に獲得した。

初期の試験セッションにおいて、全てのハトは、縞刺激を細かいものに移行させた場合も正答率が80%以上を示し、良好な転移が観察された。試験時の各被験体の刺激の推移をFigure 1に示す。

被験体B12は、7.8 minの縞刺激までは

80%以上の高い正答率をほぼ毎セッションで示した。したがって縞刺激はセッション毎に順次細かいものになっていった。3.9 minの縞刺激セッションでは78.3%の正答率が示されたため、次セッションは刺激を維持した。しかし、ここでの正答率が68.3%であったため、縞刺激を7.8 minに戻した。この7.8 minの縞刺激セッションにおいては83.3%と、基準を越える正答率が再び示された。3回目となる3.9 minの縞刺激セッションにおいては75.0%と維持基準の正答率が示された。これらの結果から、被験体B12の閾値は3.9 min、あるいは3.9 minと7.8 minの中間の5.9 minとみなすことができる (Figure 1 左上パネル)。

被験体C14は、19.4 min縞セッションに初めて入った時は正答率が60.0%で、一度23.3 minに戻ったが、その後80%以上の正答率が4セッション連続し、縞刺激はセッション毎に順次細かいものになっていった。7.8 min縞セッションでは78.3%、73.3%と刺激維持基準の正答率が続いたため、刺激を維持した。続く3回目の7.8 min縞セッションでは85.0%の正答率であったため、続くセッションは縞刺激が3.9 minとした。この3.9 minの縞刺激セッションでは正答率が73.3%、78.3%、75.0%と連続して維持基準となった。この結果は被験体C14の閾値が3.9 minであることを示す (Figure 1 右上パネル)。

被験体C32は、他の2個体に比較して刺激の推移がやや不安定ではあるが、縞刺激は徐々に細かいものになっていった。11.7 minの縞セッションにおいては正答率が68.3%であったため、次セッションでは縞刺激を15.6 minに戻した。この15.6 minセッションでは96.7%の正答率が示され、続くセッションでは縞刺激を再び11.7 minとなった。このセッションの正答率は70.0%と維持基準であったが、次のセッションでは93.3%の

Figure 1. 試験時の各被験体の縞刺激のセッション間の推移。縦軸は縞パターン幅をハトの視角で表したものの。横軸は試験セッション。

正答率が示されたため、続くセッションの縞刺激は 5.9 min とした。このセッションにおいては正答率 65% であったため、再度縞刺激は 11.7 min に戻した。その後は連続 3 セッションにおいて 70.0, 73.3, 76.7% と連維持基準内であった。したがって被験体 C 32 の閾値は 11.7 min, あるいは 11.7 min と 5.9 min の中間の 9.8 min とみなすことができる (Figure 1 右下パネル)。

考 察

ビデオモニタ上におけるハトの近視野視力は、3.9~11.7 min の間にいることが示された。この結果は、Bloch & Martinoya (1982) の 8.5 min や古屋 (1984) の 8 min よりも高

い視力 (最小分離閾) であり, Hodos et al. (1976) の 1.92 min より低い視力である。しかし、それぞれの研究に用いられた刺激の平均輝度をみると、Bloch & Martinoya (1982) が 300 cd/m², 古屋 (1984) が 60 cd/m², Hodos et al. (1976) が 214 cd/m² と大きな差異がある。本研究の縞刺激の平均輝度は、一般のビデオ画像の平均輝度 70 cd/m² に近い 54 cd/m² であり、本研究より高い視力を示した Hodos et al. の研究 (1976) に比較して低い刺激輝度である。Hodos et al. (1976) の輝度-視力関係から、本実験の刺激輝度 54 cd/m² の視力を推定した場合、3 min 程度の値となる。本研究における最小分離閾の最大値は 3.9 min であり、推定された値と

ほぼ同じであった。また、縞刺激のコントラストについても、Hodos et al. (1976) の使用した刺激のコントラストは92.0~98.9と非常に高く、本実験で使用了刺激と同程度であった。これらのことから、ビデオモニターにおけるハトの近視野視力は、スライドプロジェクターを用いて測定された視力と同等であることが示唆される。

ビデオシステムは、編集や刺激提示の利便性から、動物の知覚・認知研究における刺激提示装置として現在広く用いられている。しかし、従来のビデオによる静止画はスライド写真に比較して解像力が非常に低いとされてきた。本研究の結果は、ハイビジョンシステムのビデオ画面が、実験場面においてスライド刺激と同等の空間解像度をもち、静止画提示装置としても十分な性能を持つことを示した。

しかし、従来のビデオモニターの静止画提示装置としての問題点は、この空間解像度だけにあったわけではない。ビデオモニターの時間的な解像度、すなわち画面書換えサイクルも静止画提示装置としての問題とされてきた。ビデオ画面は、60 Hz でインターレース(走査線1本おき)に走査されて作られる。この規格は通常のビデオでもハイビジョン方式でも同じである。これは、ヒトが通常ビデオ画面をみる場合の画面の平均輝度が70 cd/m²程度であるとみなし、この輝度におけるヒトのCFF (critical fusion frequency) が50 Hz 程度であるため、60 Hz の走査でもちらつきが知覚されないという研究結果から決定された値である(大川・石田, 1987)。

しかし、ハトのCFF値は、ヒトよりも高いという報告があり(Emmert, 1983; Hendricks, 1966; Powell, 1967), ハトがビデオの静止画面をちらつきのある画像として知覚している可能性もある。もしそうであれば、ハトに対する提示装置としては適切でないこ

ともなる。しかし、ハトがヒトより非常に高いCFF値(145 Hz程度)を示したのは、100000 cd/m²という高輝度で、PCF値(pulse-to-cycle fraction)が0.1という相対的な輝度パルス幅が短い場合であった(Powell, 1967)。それに対し、実際のビデオ画像の平均輝度は70 cd/m²と比較的低く、画像をつくる蛍光体は走査後も輝度をある程度維持しているため、ビデオ画面のPCF値は相当大きいと考えられる。ハトのCFF値は、100 cd/m²程度の平均輝度の場合、PCF値が0.1で80 Hzほどであり、PCF値が0.5になると60 Hz程度に低下する(Powell, 1967)。このため、ハトにとってビデオ画面がちらつきのある画像かどうかについて、少なくともCFFの値から判断した場合、ちらつきのない画面として知覚している可能性が高いといえる。ハトがビデオ画像をちらつきのあるものとして知覚しているかどうかについては、今後ビデオ画像の画面書換えサイクルを系統的に変化させて検討する必要があるだろう。

ビデオ技術は、当然のことながらヒトの知覚・認知システムを中心に設計されている。ハトにとって、ビデオ画像がどのような映像として知覚、認知されているかという基礎的な研究はほとんどなされていない。今後、ハトの認知研究において、ビデオ装置がますます使用されるであろうことを考えれば、ビデオ画面における空間および時間的な解像度といった基礎的なデータの蓄積は早急に行わなければならないであろう。

引用文献

- Bloch, S., & Martinoya, C. 1982 Comparing frontal and lateral viewing in the pigeon. I. Tachistoscopic visual acuity as a function of distance. *Behavioural Brain Research*, 5, 231-244.

- Blough, P. M. 1971 The visual acuity of the pigeon for distant targets. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **15**, 57-68.
- Catania A. C. 1964 On the visual acuity of the pigeon. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **7**, 361-366.
- Chard, R. D. 1939 Visual acuity in the pigeon. *Journal of Experimental Psychology*, **24**, 588-608.
- Emmerton, J. 1983 Vision. In M. Abs (Ed.), *Physiology and behaviour of the pigeon*. London: Academic Press. Pp. 245-266.
- 古屋 泉 1984 ハトの Near-field における単眼視力と両眼視力. 慶応義塾大学心理学専攻卒業論文.
- Gundlach, R. H. 1933 The visual acuity of homing pigeons. *Journal of Comparative Psychology*, **16**, 327-342.
- Hamilton, W. F., & Goldstein, J. L. 1933 Visual acuity and accommodation in the pigeon. *Journal of Comparative Psychology*, **15**, 193-197.
- Hendricks, J. 1966 Flicker threshold as determined by a modified conditioned suppression procedure. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **9**, 501-506.
- Hodos, W. 1993 The visual capabilities of birds. In H. P. Zeigler & H. J. Bischof (Eds.), *Vision, brain, and behavior in birds*. Cambridge, M.A.: MIT Press. Pp. 63-67.
- Hodos, W., Leibowitz, R.W., & Bonbright, J.C., Jr. 1976 Near-field visual acuity of pigeons: effects of head location and stimulus luminance. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **25**, 129-141.
- Martin, G. R. 1993 Producing the image. In H. P. Zeigler & H. J. Bischof (Eds.), *Vision, brain, and behavior in birds*. Cambridge, M.A.: The MIT Press. Pp. 5-24.
- 大川雅彦・石田順一 1987 ハイビジョン 日本放送出版協会.
- Powell, R. W. 1967 The pulse-to-cycle fraction as a determinant of critical flicker fusion in the pigeon. *The Psychological Record*, **17**, 151-160.

(1996.1.30 受稿, 1996.6.25 受理)