

視覚心理実験支援システムの開発

行場 次郎

信州大学人文学部

〒390 松本市旭3-1-1

1. はじめに

心理実験における視覚刺激の提示では、従来、蛍光管とハーフミラーを組み合わせたタキストスコープ (tachistoscope) が用いられることが多かったが、いくつかの問題点が指摘されている。第1に、短時間提示が可能といっても、蛍光管の特性により、視覚刺激の立ち上がり、立ち下がりがシャープでなかったり、輝度レベルが一定に保証されないことが指摘されている¹⁾。第2に、チャンネル数が少ないので一定時間以内に多数の刺激が提示できず、しかも刺激のチェンジにかなりの労力を必要とするため、ランダム提示が容易にできないことがあげられる。第3に、刺激箱内に試行ごとに挿入される刺激カードの像をハーフミラーで反射させる方式のために、提示位置が毎回微動し、実験の目的が妨げられることある。第4に、刺激はほとんどの場合、手書きもしくはコピーであり、作成に膨大な時間がかかり、しかも品質を一定に保つことが難しい。

コンピュータディスプレイを利用した実験装置は上記の問題をかなりの程度、解決しているが、大きな問題は提示時間である。通常のディスプレイの垂直リフレッシュ周波数は60Hz程度なので、時間設定を16msec以下にすることは不可能になる。そのため、例えば、視覚マスキングの実験に使えなかったり、反応時間に20msec程度の差があらわれても、垂直同期信号とのタイミングをとっていない場合には、それが提示時間の誤差ではないかという不安が絶えず

つきまとう。

これらの問題を克服したコンピュータ制御の高速刺激提示装置もいくつか開発されている^{2,3)}。しかし、残念なことに、これらは研究所向きの特殊仕様であり、一般の大学での導入は難しい。

一方、心理学実験では、視覚と聴覚という複数のモダリティにわたった実験が組まれることがある。また、視覚をメインにした実験でも、実験手続きの進行上、被験者をガイドするメッセージが必要な場合がある。ところが、特に音声刺激となると、任意のタイミングで提示するにはテープレコーダではもちろん限界があるので、コンピュータでAD-D/A変換によりサンプリングしたり、特別な発声ボードや音声ROMが多く使われている。これらの場合、ハードだけでなく、特別なソフトも用意する必要がある。視覚刺激と同期させる場合には、かなり大掛かりなシステムになってしまう。

このような問題点を日頃感じていた筆者らは、岩通アイセル社とともに、視覚心理実験支援システムを構想し、その実現、改良に取り組んでいる⁴⁾。ここにその概要を紹介し、視覚心理実験支援システムにはどのようなハードウェア・ソフトウェアが必要とされるのか、様々な角度から議論してみたい。

2. 視覚心理実験支援システムの必要条件

視覚心理実験支援システムを構想する際に、重要と考えられる事項を以下にあげる。

1) 高速に動作し、視覚刺激の提示時間や ISI, SOA の設定が 1 msec の高精度でできること。そして、これらの設定との同期を確実に取りながら、反応時間が 1 msec の精度で測定できること。

2) 十分な枚数の視覚刺激を連続提示、およびランダム提示できること。また視覚刺激の作成が容易にできること。

3) 聴覚刺激を視覚刺激とのタイミングを任意に取りながら連続提示、およびランダム提示できること。音声刺激も簡単な手続きでサンプリング登録し、提示できること。この機能は、実験手続きを被験者に伝え、実験の進行をスムーズにガイドする上でも、大切なものである。

4) 実験スケジュールを特別なプログラミングの知識がなくとも簡単に作成できること。しかも多種類の視覚心理実験の計画、実行を支援できるような汎用性を可能な限りもつこと。

5) できるだけ低額のシステムとし、大学研究室レベルでの導入を容易に行えること。そのためには、研究者がすでに所有している他の実験機器との関係がとれ、有効に利用できること。

3. ハードウェアの構成

上述の必要条件をできるだけ忠実に実現する

にはどのようなハードウェアを用意したらよいか検討した。考案されたハードウェアの基本構成を図 1 に示す。

3.1 ディスプレイ

高速性の点ではベクトルスキャン方式が有利であるが、面をもつ視覚刺激が多くの場合使用されるので、描画面積によって表示時間や輝度が変化しないラスタスキャン方式がより望ましいと考えられる。ラスタスキャン方式で高速性をもたせるには、全画面を垂直リフレッシュせずに、実験の設定に応じて画面の中央領域を幅狭くりフレッシュすればよい。そこで、垂直表示幅を可変とし、全画面垂直幅の 1/8 の表示モードのときには、垂直リフレッシュ 1000 Hz 程度の値を確保するようにした。これにより、1 msec 単位の提示が可能になる。全画面スキャン時にも 125 Hz と一般のディスプレイに比べて約 2 倍の速さにした。

高速視覚刺激提示を行う場合、注意しなければならないのはブラウン管の残光特性である⁶⁾。これを緑発光の B31、または白発光の B4 (L5) とし、ビーム除去後、輝度レベルが 10 % 以下に低下するまでの時間を 100 μ sec 程度とした。ただし、両方とも輝度レベル 10 % を過ぎてからの減衰には比較的時間がかかる特性が

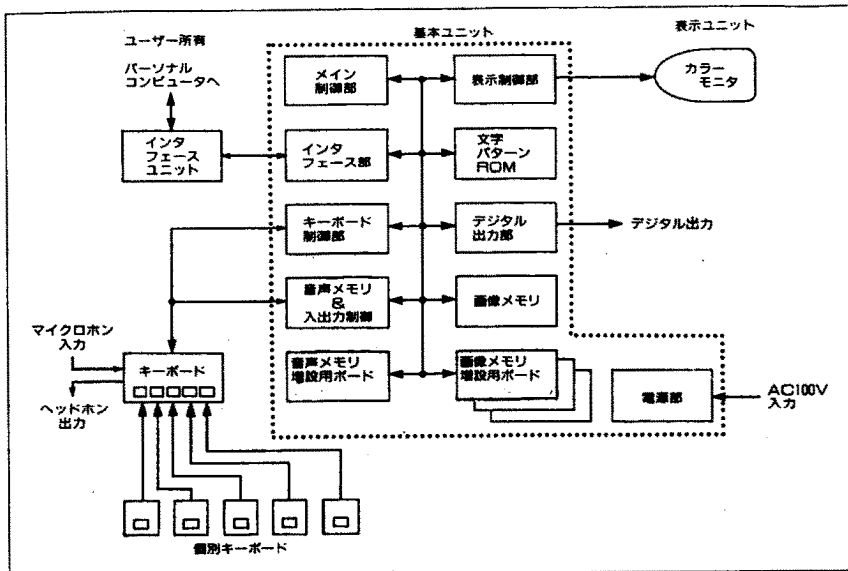


図 1 視覚心理実験支援システムのハードウェア構成

あるので、このレベルが視覚系の刺激閾以下になるようにコントラストをあらかじめ低くしておくか、ブライツネス調整つまみにより、画面の背景輝度レベルをある程度上げておく対応処置が考えられる。

白黒多階調表示や、カラー表示も必要である。カラーディスプレイのとき、注意を要するのは、RGBの各色によって残光時間が異なることである。採用したディスプレイはCAD専用のものであるが、10%輝度レベルまでの残光時間は、Rが1.0msec、Gが0.1msec、Bが0.1msecであり、Rが長めのため1msecの提示時間は望めない。そのため、最小提示時間は10msecに抑えてある。

有効表示サイズは、大きな視角がとれるように、全画面モードの時には28×28cm（モノクロディスプレイ）または20×20cm（カラーディスプレイ）の正方形とし、512×512ドットから構成されている。縦横サイズやドット数が同じほうが実験条件の設定がしやすいであろう。

3.2 画像メモリ

十分な枚数の視覚刺激を連続提示、およびランダム提示するには、大きな画像メモリが必要である。しかも、視覚実験では、RGBの階調数はそれぞれ最低256階調（8bit）はほしいので、メモリ容量はさらに膨大になる。この場合でも、画面サイズを目的に応じて選択できることは、容量の節約につながる。現在のシステムでは、全画面サイズをRGB各256階調で表示するとき最大32枚分、計24Mbitのメモリを準備している。画像メモリを有効に使うために、階調数や画面サイズを小さくするのに応じて表示枚数を増加させることができ、2階調で1/8サイズ時、最大2048枚の表示を可能にしている。階調指定値と実際の輝度変化のリニアリティを保証するために、9bit程度のルックアップテーブルも用意したいところであるが、将来の課題となっている。

画像メモリを大きくしたとき問題となるのは、画像の転送速度である。DMA転送を使用

することにより高速化をはかっているが、ハードディスクからRGB各256階調の全画面を1枚転送するのに約45秒もかかってしまう。階調数や画面サイズを小さくすればもちろん転送時間は短くなるが、ここで有効となるのは、表示座標を指定できる領域転送方式である。大きな画面を使う視覚実験でも、実際にパターンが表示されている部分は散在しており、空白領域が多い場合がほとんどである。そこで、パターンが表示されている領域にのみ、必要な画像を転送すればよい。この方式により、転送領域の面積が小さいほど、転送時間を短縮することができ、画像ファイル容量も圧縮できる。

3.3 音声ユニット部

聴覚刺激や、実験進行をガイドする音声メッセージの登録・提示するため、32Kbit/secで量子化を行ったデータを最大131秒登録できるメモリを用意する。収録は入力音がある一定の音圧レベルに達すると自動的に開始されるが、そのスレッシュホールドレベルの調整も可能である。このメモリも32刺激分に分割可能で、視覚刺激提示と同期をとってランダムアクセスができる。ステレオ提示ができるので、両耳分離聴などができるようになり、注意の問題や、大脳半球機能差などをテーマにした神経心理学的研究も支援できると期待される。

3.4 反応記録部

5個の反応キーが用意され、視覚刺激、聴覚刺激に同期して、1msec単位で反応時間が測定できる。同様に、発声による反応時間をボイスキーにより測定することもできる。

コンピュータによる反応記録として期待されるのは、音声認識機能である。特定話者の最大40語を識別し、反応結果として収録する。同じ語を複数回、登録しておけば、認識不能となる確率は減少し、信頼性の高い利用が期待できる。

視覚刺激、聴覚刺激、および被験者の反応開始に同期して、任意の8bit信号を外部に出力し、他の心理実験機器との連係がとれることも必要なことである。

3.5 制御部

これらのすべてのハードウェアを高速に制御するために、専用のCPUを用意した。高速性を必要とする処理はすべてこの専用CPUに任せ、どのようなスケジュールを実行するかについての情報のみを制御コマンド形式で外部のパソコンから送りこめば、ソフトウェアの負担は軽くなる。

4. ソフトウェア

本論のはじめにも書いたように、従来のタキストスコープを用いた実験の大きな問題点の1つは刺激作成とランダム提示に労力がかかることであった。一方、パソコンを用いた場合には実験プログラムの作成に膨大な時間がとられるという難点がある。これらの問題にどのように取り組んだらよいか、議論する。

4.1 CGソフトをもちいた刺激作成

最近のコンピュータグラフィックス (CG) の進展はめざましく、パソコン上でも従来の専用機なみの機能が発揮できるようになった。これらのソフトを利用すれば、複雑な視覚刺激を簡単に作成でき、しかも刺激のコピー、拡大、縮小、回転などの変換が容易に行える。問題は、CGソフトやグラフィック制御言語で作成した刺激をパソコンだけでは高速に提示できないことであった。

本システムでは、パソコン上で作成した画面データを簡単に本体内の画像メモリに取り込めるソフトを用意しているので、それらを高速に、しかもランダムアクセスや音声刺激と同期して提示することができる。また、それらをディスクなどにファイル化しておけば、視覚刺激ライブラリーとして保存してゆくことが可能である。それらを研究者の間で交換すれば、追試が容易になったり、学生実習の教材に利用できたりなどして、思わぬメリットが生まれることが期待できる。

頻繁に使う文字刺激については、本システム内に32×32ドットの高品位の文字ROMを内蔵し、しかもその拡大が自由に設定できるよう配慮した。

4.2 実験スケジュールのマップ化

従来のタキストスコープでは、実験スケジュールを実施するのに、タイマーを何個も結線し、試行ごとに設定し直さなければならなかった。一方、パソコンで実現する場合にはプログラム作成に長い時間がかかり、かつ様々なノウハウがあるので、それを修得していない初心者にはその負担はかなり大きいものであった。そこで、考案したのが実験スケジュールのマップ化方式である。

図2に示すような直感的に理解しやすいスケジュールマップ上にパラメータを書き込むだけ

NO. ← →	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	T 9	T 10
時間 (×1ms)	500	X1	25	2000	800	800	500	800		
リピート	20						RP 1			
ジャンプ	1			JE 6						
5										
計測タイマ			ST							
音声出力 右	1				3	2		4		
左										
デジタル出力			FF							
呈示	1		X1							
フレーム	2									
5										
サイズ=1/8	輝度=255		応答の種類=A(1+2+3+4+5)							

図2 実験手続きのスケジュールマップ化。この例は、選択反応時間を測定する実験を示したものである。「用意」の合図 (T 1) の後、ランダムな長さの待機時間をおいて (T 2)、視覚刺激を25 msec ランダム提示し、そして反応計測のタイマーをスタートさせる (T 3)。その後、2000 msec の間、反応を監視し (T 4)、誤反応であれば、「誤りです」のフィードバックを行う (T 5)。「次お願いします」の合図 (T 6) の後、これらのプロセスを20回繰り返す指定を行い (T 7)、最後に「終了です」のメッセージを出力している (T 8)。詳しくはテキストを参照のこと。

で、実験実施に必要な手順を実現できる仕組みになっている。マップの最上段は、時間プロセスをあらわし、その下に数値を書き込むだけでそのプロセスの長さを設定できる。1プロセスの最小時間は1 msecであり(1/8画面モード時)、設定できるプロセスの数は48である。3段目は、繰り返しを必要とする時間プロセスの位置と回数の指定であり、4段目以降は、提示フレームや被験者の反応に応じて、プロセスの条件分岐ができるようになっていく。次の段は反応時間を計測しはじめる位置を指定する欄である。それ以降の欄では、それぞれの時間プロセスで提示する音刺激、視覚刺激、デジタル同期信号を設定するようになっていく。Xはランダム指定を表している。

このようにして作成されたスケジュールマップはディスクに保存しておくことが可能であり、同じスケジュールを異なった刺激で実行するなどということも容易にできる。また、被験者の反応内容はその試行で提示された画面や音声、時間の長さの情報などとともに、実験中、アンサー画面として表示することができ、そのままディスクにセーブできるようになっている。

これらの機能を備えたスケジュールマップの導入により、プログラミングの知識のない初心者でも短い時間で必要な実験手順を組みあげることができる。実験の量や効率を向上させる上で、この方式のもつ意義は大きいと考える。

4.3 制御コマンドを用いた使い方

スケジュールマップ方式は直感的で理解しやすいが、例えば、二重ランダム上下法のような複雑に分岐する実験手順を実現するにはおのずと限界がある。そのような場合、本システムの基本的動作を指令できる制御コマンドを用意し、望みの動作をするようにこれらの制御コマンドを組み合わせてパソコン側から本システムに送出すればよい。高速性を要する部分は制御コマンドを用いて本システムにまかし、複雑で細かな条件分岐はパソコン側の処理で行うというような役割分担をうまくやれば、かなり高度

な実験手順も自在に実現できる可能性がある。ただし、プログラミングの知識は必要となる。

5. 視覚心理実験支援システムの利用可能性

最近の視覚心理実験では、認知心理学の台頭とあいまって、これまで以上に複雑で、自由度の高い刺激操作や、反応測定が必要とされている。このような状況の中で、考案された支援システムがどのような研究テーマに貢献できそうかを列挙してみよう。

5.1 視覚マスキング

従来のタキストスコープやコンピュータディスプレイでは不可能だった高い精度でターゲット刺激とマスク刺激のSOAや輝度を設定でき、しかも両刺激とも様々な形状と種々の空間位置関係をもって提示可能なので、効率よい実験が遂行できる。

5.2 アイコニックメモリ

本システムの最大の特長は、視覚刺激の短時間提示を正確に、しかも聴覚刺激と任意のタイミングをとって提示することができる点である。このような機能は、視覚的情報保存(VIS)の存在を明らかにしたSperling⁹⁾の部分報告法などに最適である。

5.3 運動視

高速提示が必要なことと、画像データを大量に用意しなくてはならないため、従来のタキストスコープでは、単純な仮現運動を除いて、扱いにくいテーマであった。Braddick¹⁰⁾の研究以来、最近ではランダムドット・シネマトグラムが運動刺激としてよく使われるが、この種の刺激を高速で、しかも容易な操作で提示できる。

5.4 パターン認知

文字パターンや各種標識の視認性を測定するような応用的研究はもちろんのこと、視覚系が抽出する基本的特徴は何か、パターンは脳内ではどのように表現されているかといった基礎的、理論的研究における実験の支援に力を発揮するであろう。特に、最近、話題になっているTreisman¹¹⁾の視覚探索実験や、Navon¹²⁾の「木よりも森が先」仮説を検討する実験などでは、

反応時間を厳密に測定する必要があるが、本システムでは同様な実験手続きを簡単に実行できる。Ikeda & Uchikawa¹³⁾が行ったパターンの時間的・空間的分割提示なども比較的容易に実現できよう。

5.5 視覚・聴覚相互作用

本システムの特徴は視覚刺激と聴覚刺激（特に音声刺激）を任意のタイミングで提示できることにある。したがって、感覚間相互作用の研究に向いているといえる。ただし、聴覚刺激の品質と校正の問題などについては、今後、さらに検討を加えなくてはならない。読書行動の分析や、複雑なデザインのラテラルリティの実験などにも効力を発揮しそうだ。

5.6 プライミング

文字、単語、さらに文章の言語情報処理や意味記憶表象のモデルを考える上で、プライミング効果は重要な指標として注目されている。本システムは、特に、精密な反応時間計測を必要とするプライミング実験に有効である。また、線画刺激のプライミング実験や、ブライムにマスクングをおこない、意識下のプライミング効果を調べる実験など、応用範囲は広いと思われる。さらに、最近、モダリティ間におけるプライミングにも関心が高まりつつある。この種の実験も支援可能である。

5.7 注意

カクテルパーティ効果に代表される注意の問題は、主に両耳分離聴実験で研究されてきた。注意の機構を細かく解明する研究では、色の処理と文字の処理との競合を調べるストループ課題がよく用いられる。また、処理資源配分を調べる多重課題遂行実験なども、本システムで支援可能である。

5.8 イメージ研究

視覚的イメージや画像記憶の実験では、図形や絵、写真などを刺激とする実験が多くなっている。これらの実験に対して、CGソフトや画像入力機器を利用した視覚刺激提示機能は効力を発揮し、応用の場面も多いであろう。

6. 今後に向けて

以上、視覚心理実験支援システムに必要なとされる条件を述べ、それらを実現するためには、どのような工夫が考えられるか検討してきた。最近、視覚研究に必要な実験設備と手続きはますます高度化し、そのために多くの予算と時間の投資が必要となっている。そこで、ハードウェアの進歩と優れたソフトウェアを結集させることによって、一般の研究室においても最先端の研究を可能にする研究支援システムを開発することは極めて重要であり、それが研究全体のレベルをあげる原動力になるはずである。本システムの構想が、刻々とすすむ技術革新とともに絶えずバージョンアップをかさね、様々な視覚心理実験の支援に実際に貢献してゆくことを願ってやまない。

謝辞 本システムの初期のバージョンから使用し、機能不備やバグ、およびその改善法について貴重な意見を出してくれたAVタキストユーザーズクラブの皆さんに感謝します。また、度重なるバージョンアップに真摯に取り組んでくれた岩通アイセル社技術部の皆さんに感謝します。

文 献

- 1) J. D. Mollon and P. G. Polden: On the time constants of tachistoscopes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 30, 555-568, 1978.
- 2) 淀川英司, 今田俊明: オンライン視覚実験装置, CRTタキストスコープ. 昭和53年度電子通信学会総合全国大会, No.1287, 1978.
- 3) Y. Hirai and K. Hiwatashi: VISTAS: A computer-controlled display system for visual psychological experiments. *Proceedings of the 3rd International Display Research Conference*, 144-147, 1983.
- 4) 横澤一彦, 佐藤隆夫, 梅田三千雄: 高速ディスプレイを用いた視覚実験システムと漢字識別実験への利用. 電子情報通信学会・MEとバイオサイバネティクス研究会, MBE87-124, 67-174, 1988.
- 5) 行場次朗, 富士原光洋, 横澤一彦: 認知心理実験

- 支援システムの構築. 信州大学人文学部人文科学論集, 24, 11-20, 1990.
- 6) 小林孝夫: 電子ディスプレイのABC. 日本放送出版協会, 1978.
 - 7) 行場次朗: CRTによる grating pattern の呈示法について. 信州大学人文学部人文科学論集, 17, 45-57, 1983.
 - 8) 中谷和夫, 市川伸一, 矢部富美枝: パーソナルコンピュータによる心理学実験入門. プレーン出版, 1985.
 - 9) G. Sperling: The information available in brief visual presentation. *Psychological Monographs*, 74 (Whole No. 498), 1960.
 - 10) O. Braddick: A short-range process in apparent motion. *Vision Research*, 14, 519-527, 1974.
 - 11) A. Treisman: Features and objects in visual processing. *Scientific American*, 254, 114-125, 1986.
 - 12) D. Navon: Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9, 353-383, 1977.
 - 13) M. Ikeda and K. Uchikawa: Integrating time for visual pattern perception and a comparison with the tactile mode. *Vision Research*, 18, 1565-1571, 1978.