

空間関係の認知に及ぼす映像情報の提示様式の効果

—実物とビデオとコンピュータ・グラフィックスの比較—

子 安 増 生 ・ 菊 池 聡

The Effects of Presentation Mode of Iconic Information on Cognitive Process of Spatial Relationships : Comparison among Real Things, Videotape, and Computer Graphics.

KOYASU Masuo & KIKUCHI Satoru

問 題

1. 研究の目的

映画やビデオ (videotape recording ; VTR) により伝達される情報は、言語による説明と比べると、空間関係の情報の提示に際してはるかに情報量が多い。映画やビデオは、映像を通じてわれわれを見知らぬ土地に案内し、まるでその場所に行ったかのような錯覚すら起こさせる。また、最近ではコンピュータ・グラフィックス (computer graphics ; CG) の技法を用いて作成された映像により、空間的な場所やそこでの移動を表現することが広く行なわれるようになってきた (三輪, 1992)。特に、CG の入出力装置やソフトウェアに工夫をこらし、あたかもそれが実際の場所や対象であるかのように体感させる仮想現実感 (virtual reality) の研究が盛んになっている (服部, 1991 ; 館・廣瀬, 1992)。

ところが、たとえばあるビデオやCGによる映像を見た後、そこに写し出された空間関係を想起し、それを地図に描こうとする時、意外に困難であることに気づかされるだろう。実際にある場所に行ったり、ある対象を観察することと比べて、ビデオやCGによる映像では、そこに含まれる空間関係の認知を困難にさせる要因がいくつかあるように思われる。

第一に、ビデオやCGでは、移動に付随する身体-運動感覚を伴わないことがあげられる。ビデオやCGによる映像を見る時には、たとえば椅子に座ったり、時には寝ころんだりして見るので、見る人の網膜に写る像のみが変化し、身体-運動感覚の情報が入らない〔身体-運動感覚要因の仮説〕。

第二に、ビデオやCGは、情報を一定の時系列にそって提示し、遡行や反復を許さない場合が多い。このような場合には、情報の流れが一方向的であり、見る人はそれらの情報に主体的に関

わることができない〔情報の時系列的制約要因の仮説〕。

第三に、ビデオやCGにおいては、対象の理解に必要な情報の一部が欠落している場合が少なくない。特に、実際の対象、ビデオ画像、CG画像の三者を比較すると、対象の質感や照明（光源と陰影）などディテールにわたる情報量に大きな違いがある〔情報の質感要因の仮説〕。

さて、実物とビデオとCGを比較する時、上記の3つの要因は人間の認知過程に対してどのような違いをもたらすのであろうか。

第一の身体－運動感覚の要因は、一般的に言えば実物にとって有利な条件であり、ビデオとCGにとっては共に不利に作用するように思われる。しかし、仮想現実感の研究が進展し、擬似身体－運動感覚をビデオやCG映像に付随させることができれば、実物とビデオ・CGとの差がかなり縮まる可能性があると言えよう。

第二の情報の時系列的制約の要因は、テープという媒体を利用するビデオにとって最も不利となることは明らかである。すなわち、異なる2つの映像間のアクセス時間がテープ間の距離に比例するため、瞬時のランダム・アクセスができないという点にビデオの致命的な欠点がある。この瞬時のランダム・アクセス性という点では、CGの方がはるかに可能性が大きく、それは場合によっては実物よりも有利になる可能性が秘められているのである。

第三の情報の質感要因は、実は意外に評価の難しい問題である。ごく一般的には、実物、ビデオ、CGの順で質感が低下していくように考えてもよさそうである。しかし、それはあくまでも実物を基準とした質感の問題であり、ビデオやCGには実物に見られない独特の質感表現が可能なのである。このことが、ビデオやCGによる表現を映像芸術にまで高める基盤となっているのである。

実物・ビデオ・CGのもたらす情報がそれぞれどのような特性を持ち、それが人間の空間関係の認知にどのような効果を及ぼすかという問題は、視聴覚教育の重要なテーマであるのみならず、映像芸術の表現技法を考える上でも重要である。しかし、これまでこの三者の特性を直接比較した研究は見られないようである。

このような比較研究を進める上での大きな問題点の1つは、いかにして実物とパラレルに対応するビデオ映像やCG映像を作成するかにある。これは、ビデオ映像やCG映像を作成する技術や技法の問題でもあるが、比較研究の成否を決めるものは、むしろ比較のベースをどこにおくかである。本来比較にならないものを単に形式的に比べるだけではとても比較研究と呼ぶには値しない。

本研究では、実物とビデオとCGの情報特性を比較するに際し、

- (1)対象の形と色が同一であること、
- (2)対象の布置（配置）が同一であること、
- (3)対象を観察する方角が同一であること、
- (4)対象を観察する時間が同一であること、

の4点を比較のベースに置いて論を進めることにした。

比較研究を進める上でのもう1つの問題は、映像の効果をどのような心理学的測度に着目して検証するかである。これは、もちろんその映像が何を目的として作られたかによって異なるものである。視聴覚教育では、映像によって教材に関する知識と理解が増大することが期待される。

他方、映像芸術では芸術的感動の喚起が大きな目的となる。ここでは、実物・ビデオ・CGに含まれる対象間の空間関係の認知ということに限定して以下の議論を進めていくことにする。

本研究は、成人（大学生）を被験者とし、いくつかの建物からなる建築空間（架空の大学キャンパス）の立体模型を材料として、映像情報の提示様式（実物、ビデオ、CG）を変えた場合に建物同士の関係や全体の配置に関する空間認知がどのように変化するかを調べる実験を行ない、実物・ビデオ・CGの三者の情報の特性を比較検討することを目的として行なうものである。

2. 先行研究

本研究を進めるに際して Piaget & Inhelder (1948) に端を発する視点取得 (perspective-taking) の研究を参考にしたが〔例えば Cox, 1980; 子安, 1990, 1991の文献展望を参照〕、特に Walsh, Krauss, & Regnier (1981) による老人 (elderly adults) の都市空間利用の規定因を検討した研究を直接の先行研究とした。

Walsh *et al.* は、老人が都市空間をどのように利用するかを規定する要因を探るために、

- ①空間的認知能力,
- ②近隣環境の知識（認知地図）,
- ③施設・サービス機関などの利用状況,

の三者の関連性を調査した。調査対象となったのは、アメリカ合衆国ロサンゼルス市の2地区に居住する老人男女202人（ウェストレイク地区では平均年齢71歳、ロングビーチ地区では73歳）であった。本研究にとっては、この中の「①空間的認知能力」を調べるための実験（上記202人のうち50人に実施）が参考になった。

これは、架空の街をシミュレーションでトリップするビデオ（カラー、20分）を観察する「ビデオ視聴」条件と、その街の建築模型を8か所から各2分15秒ずつ（合計20分）観察する「移動観察」条件の2種類のいずれかによってある建築空間を観察させた後、再構成課題と視点取得課題の2種類でその理解度を調べたものである。再構成課題では、約90cm 平方の紙に10個のミニチュアの建物を正しく配置することが求められた。また、視点取得課題は、移動観察条件で用いた建築模型の前に被験者を座らせ、建築模型の向こう側に設置したスクリーンに提示するスライドが8つの方位のうちのある方角（ランプの点灯によって指示する）から見えるものと同一であるかどうかについてのイエス/ノー判断と、その判断の確信度（3段階）をキー押しによって行なわせるものであった。なお、提示したスライドは、①正像、②鏡像、③前後逆、④前後・左右逆、⑤自己中心像（被験者から見える風景を示すもの）の5種類、合計156枚であった。また、刺激提示の制御は、コンピュータを用いて行なわれた。

結果は、移動観察群の方がビデオ視聴群よりも再構成課題でのエラー数が有意に少なく、視点取得課題でも有意に成績が良かった。また、自分の位置から見える風景を映したスライドが提示されているのに、他の方角から見えるものとして反応する「自己中心的エラー」の多いことが老人の被験者の一つの特徴であることも示された。

さて、Walsh *et al.* の研究では老人の空間認知の特性を明らかにすることが主題であったが、本研究では被験者を大学生とし、映像情報の提示様式の効果そのものに焦点を当てた。その場合、大学生にとって親近感があると思われる大学のキャンパス空間を実験材料として用いることにし

た。

また、Walsh *et al.* の実験の手続き上の問題点として、ビデオ視聴条件の「シミュレーションでトリップする映像」の与える情報が移動観察条件で得られる情報とどのように対応するかが不明確な点をあげることができる。そこで本研究では、実物（架空の大学キャンパスの模型）の観察とできる限りパラレルな内容を持つビデオ映像とCG映像を作成することに意を用いた。

なお、Walsh *et al.* の研究以外では、コンピュータ・グラフィックスによって視点取得課題を実施した加藤（1986, 1989）の研究を参考にした。加藤の実験では、図形を線のみで描くワイヤフレーム・モデルのCGが用いられたが、本研究では提示映像をできるだけ実物に近づけるために、面に色彩を施し隠線・隠面を処理するサーフィス・モデルのCGを作成し利用した。

方 法

1. 被験者

大学生・大学院学生合計69人。その内訳は男子40人、女子29人、年齢範囲は18歳から30歳までであった。実験は、実物観察群（男9人、女8人）、CG観察群（男11人、女7人）、VTR観察群（男10人、女7人）、統制群（男10人、女7人）の4群に無作為に分け、個別に実施された。

2. 装 置

本研究で使用した装置は、パーソナル・コンピュータ2台（NEC・PC9801-ESおよび同9801-M）と21インチ・カラーCRTモニター2台（NEC・PC-TV472および松下電器TM-211）、ドットプリンタ（エプソンVP-130K）、光動画ディスクファイル（松下電器TQ-2300FA）、ビデオデッキ（松下電器AG-3550, S・VHS方式）、ビデオカメラ（ビクターGR-S505, S・VHS-C方式）、インスタント・カメラ（ポラロイド・スペクトラ）、CDプレイヤー（ソニーD-303）を各1台などであった。

このうち、ビデオカメラはビデオ映像の撮影、インスタント・カメラは後述する再構成課題の結果の記録、CDプレイヤーは被験者が建築模型を観察する場面での環境音楽を提示するための道具としてそれぞれ用いられた。

また、後述の視点取得課題では、実験材料の提示と被験者の反応の記録、およびそのコンピュータ制御のために、図1に示すような構成で実験装置が用いられた。

CGは、パーソナル・コンピュータと21インチモニター、ビデオはビデオデッキと21インチモニターの組合せで提示された。この場合、両者の画面の大きさと色調は、同一機種のカラーCRTモニター（NEC・PC-TV472）

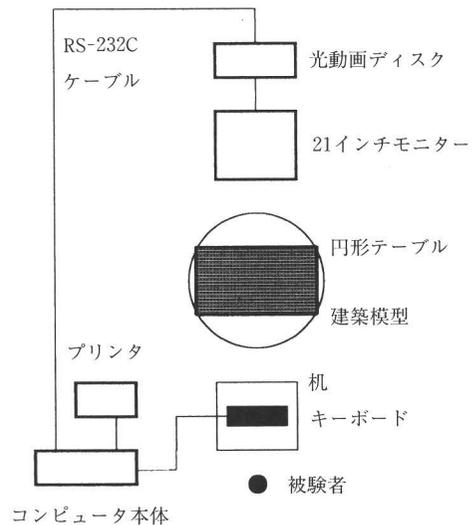


図1 視点取得課題での実験装置の構成

を用いて統一された。

3. 材 料

次のような材料を用意した。

(1) キャンパスの立体建築模型：本実験のために架空の大学のキャンパスをかたどった、主としてボール紙製のカラー立体建築模型を製作した。この立体建築模型は、90×60cmの大きさの土台と、5つの講義棟または研究棟の他に、図書館、体育館、クラブハウス、グラウンド、駐車場、池の合計11の要素から成り立っている（図2の写真参照）。模型の製作にあたっては、はじめに2次元グラフィックス用ソフトウェアの「花子」（ジャストシステム）によってコンピュータ画面上にキャンパスの平面図を作成し、建築物の種類と配置を決めていった。その際、実際の大学キャンパスにありそうなものという条件に加えて、立体模型として作りやすいだけでなくCGとしても作りやすいことを考慮した。また、立体建築模型の着色は絵具によった。

(2) 再構成課題用のキャンパス模型：(1)の立体模型を2/3倍の大きさに縮小した平面的ミニチュア模型を作製した。これは、立体模型の平面図から得られる図形をかたどって厚紙を切り抜き、立体模型と同色の絵具で着色したものである。

(3) 刺激提示用ビデオテープ：ビデオカメラを用いて、(1)の立体模型を45度刻みの8方向からズーム機能を併用して撮影したビデオテープを作成した。ズームは、どの方向においても、遠景から近景に向かった後、再び近景から遠景に向かうように用いられた。このビデオテープの録画時間は、約2分20秒である。

(4) 刺激提示用CGソフトウェア：(3)のビデオテープとほぼ同等の内容のものを「3・D PERS」（アスキー）という3次元CG作成用ソフトウェアを用いてCGソフトウェアを自作した（図3の写真参照）。その形と色をできるだけキャンパスの立体模型に近づけるため、先にCGソフトウェアを完成してから、それに合わせて立体模型を製作するという手順をとった。このCGは、パーソナル・コンピュータ上で作動し、「3・D PERS」で作成された画像（建築モデルを8つの方角、各3段階の距離から見たもの計24枚、カラーは16色を使用）をキー押しによって連続的に提示するものである。また、被験者がどのような順序で見えていったかがコンピュータに記録できるようにした。

なお、コンピュータ・グラフィックスの使い方の練習用ソフトウェアとして「3・D PERS」のデモンストレーション・プログラムに入っていた一軒屋（ロッジ）の映像を利用し、これを8方向3段階の距離から見るためのプログラムを作成した。

(5) 光ディスク・ファイル：視点取得課題用の提示刺激として、キャンパスの立体建築模型をビデオで収録した映像から、41枚の静止画像（練習用3枚、本実験用38枚）を取り出し、光ディスクのファイルに収録した。なお、その中には元の画像の鏡像（左右が逆転した画像）が含まれていたが、これはビデオ撮影時に鏡像を撮影できるアダプター（旭光学製一眼レフ用ミラーアダプター）をビデオカメラのレンズの前に取り付けて撮影した映像を用いた。

(6) 空間因子の知能検査：被験者の空間的知能を測定するために、新訂京大N X₁₅-知能検査（大成出版牧野書房）のうち「重合板」「折り紙パンチ」「図形分割」の3つの下位検査を利用した。重合板は、4×4個の文字が書かれた板の上に、4×4個の数字が書かれた板を回転して重ね合

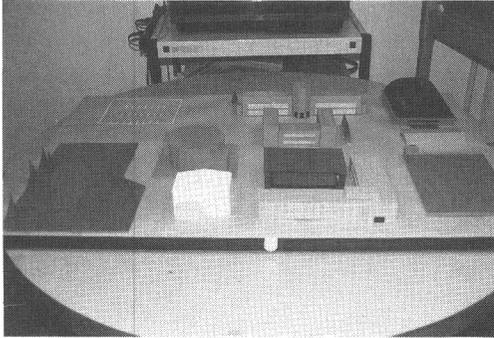


図2 立体建築模型

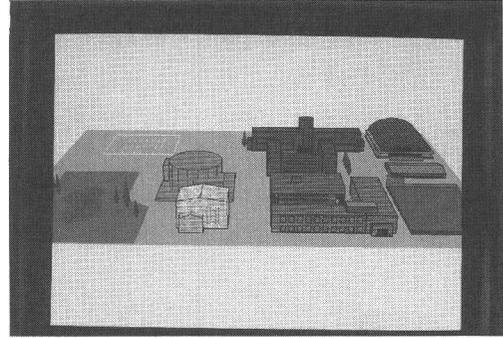


図3 コンピュータ・グラフィックスの画面例

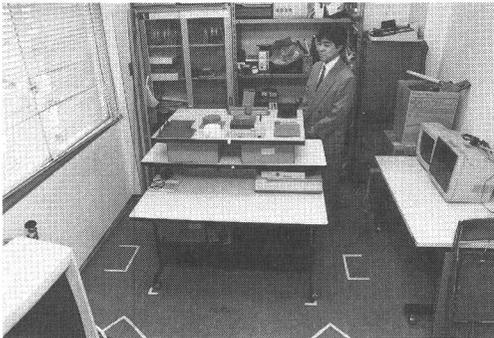


図4 実物観察群の実験状況

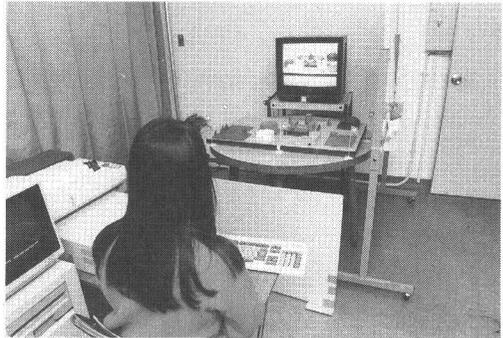


図5 視点取得課題の実験状況

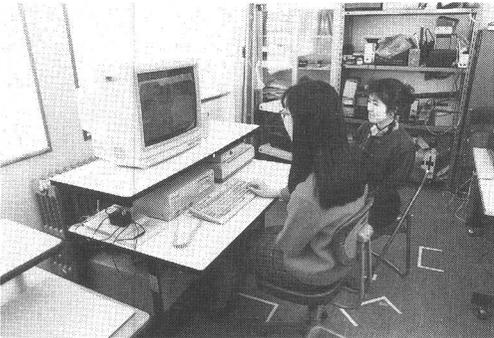


図6 CG観察群の実験状況

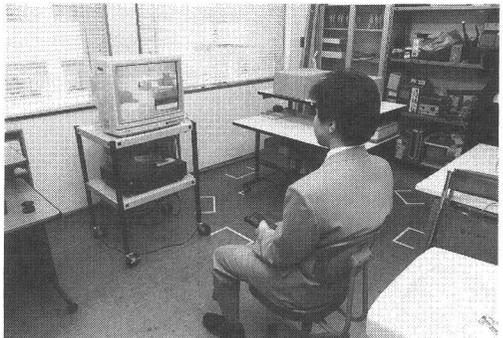


図7 VTR観察群の実験状況

わせたら、文字と数字がどのように対応するかを答える一種のメンタル・ローテーション課題である。折り紙パンチは、正方形の紙を2つ折りまたは4つ折りにして、穴を貫くようにしてあけたものを展開した時にできる図形を、5つの選択肢の中からさがすメンタル・フォールディング課題の一種である。図形分割は、適当なところを1本の直線で分割してつなぎあわせると正方形ができるようになった図形のどこを切ればよいかを記入する課題である。各下位検査は時間制限法によるものであり、それぞれの制限時間は重合板が3分、折り紙パンチが1分、図形分割が2分であった。

以上の空間因子の知能検査は、4つの被験者群間の空間処理能力の等質性のチェックに利用すると共に、各下位検査の結果と本実験の課題成績との関連を検討するために実施された。

(7) 方向感覚質問紙：竹内(1990)の作成した20項目からなる方向感覚質問紙をそのまま利用した。この質問紙は、「知らない土地へ行くと、途端に東西南北がわからなくなる」「所々の目印を記憶する力がない」などの質問に「あてはまらない (1)」～「あてはまる (5)」の5段階で評定する形式である。この方向感覚質問紙は、被験者の方向感覚能力の測定のためと、実験時の時間調整のための2つの目的から実施された。

4. 手続

実験は、実物観察群・CG観察群・VTR観察群・統制群の4つの被験者群毎に、隣接する2つの実験室(ここでは、便宜上それを「実験室A」、「実験室B」と呼ぶ)を用いて次のような手続で行なわれた。

実物観察群：次の6つのステップで実験を行なった。

(a)導入(実験室A)；最初に、次のような導入の教示を与えた。

「これからやっていただくことは、心理学で“空間認知”とよばれている研究領域に関するもので、さまざまな方向からのものの見え方について調べることを中心とするものです。中にはテストのように思える課題があるかもしれませんが、個々人の能力について調べるのが研究の目的ではありませんので、安心してやってください。」

(b)空間的知能の測定(実験室A)；次いで京大NX₁₅-知能検査の重合板、折り紙パンチ、図形分割の3つの下位検査をこの順で検査手引にしたがって実施した。

(c)建築模型の観察(実験室B)；部屋を実験室Aから隣の実験室Bに移動してもらった後、次のような教示を与えた。

「これから、ある架空の大学のキャンパスの模型を見てもらいます。あとでその配置(並び方)について質問をしますので、よく見ておいてください。見る時には、次の4つの条件を守ってください。

①見る時間は4分ちょうどです。“はじめ”と“やめ”の合図をしますので、それに従ってください。

②模型を見る位置は、床にテープの印のあるところに限ります。途中では立ち止まらないでください。

③回る回数や順序は自由ですが、8個所の位置について最低1回は見てください。

④背伸びをしたり、模型に手を触れたりしないでください。」

その後、被験者は、高さ1 m 15cmの台の上に載せたキャンパスの立体建築模型を観察した(図4の写真参照)。この台の高さは、立って見た時に立体建築模型に対する俯角(見下ろす角度)がビデオやCGの映像の俯角に近似するように設定したものである。見ている間、被験者から模型についての質問があっても、詳しいことは答えず自由に見てもらった。また、被験者が観察中に聞く音刺激を一定に統制するため、ベートーヴェンの『交響曲第6番<田園>』の第2楽章をCDプレイヤー(ラジオカセットのスピーカー出力)によって聞かせた。この選曲は、「田園に囲まれた大学キャンパス」のイメージを環境音楽として与えるという趣旨に基づくものである。

(d)再構成課題（実験室B）；次にキャンパスの模型が見えない位置で、ミニチュア模型を用いて先程見た建物の位置関係を再構成する課題を被験者に与えた。教示は、

「では、今見ていただいた模型のキャンパスがどのように並んでいたかを思い出して、その配置図をこの模型の板を用いて並べてみてください。この板は、色と形を似せて作ってあります」

というものであった。制限時間は5分に設定したが、被験者ができたと思った時点で終了した。課題完成后、再構成に要した時間を記録し、結果をインスタント・カメラで撮影した。この写真撮影は、最後に被験者が立っていた位置に立ち、真上から行なった。なお、インスタント・カメラを用いたのは、撮影後約2分で写真ができあがり、その場で撮影の適否が確認できるという理由による。

(e)方向感覚質問紙（実験室A）；次に再び実験室Aに戻り、方向感覚質問紙20項目に記入してもらった。その際の教示は、

「では、次にこのアンケートに答えてください。答に“よい”、“わるい”はありませんので、思ったとおりに答えてください」

というものであり、後は被験者自身で記入する方式をとった。なお、この間に実験者は、立体建築模型を実験室Bから実験室Aに運び込み、それを円形のテーブル上にセットし、方角を示す小さな旗を1本ずつ立体模型の周囲8か所に立てるなど、次の視点取得課題の準備をした。

(f)視点取得課題（実験室A）；まず、被験者をコンピュータのキーボードを設置した机の前に座らせ（図5の写真参照）、次のような教示を与えた。なお、最初はついたてによって立体建築模型とその向こうのモニターが見えないように隠されている。

「このついたての向こうに隠れているのは、ある大学のキャンパスの模型です。これからやっていただくことは、このキャンパスの模型をさまざまな位置から見たときにどのように見えるかをイメージしていただき、ついたての向こうにあるモニターテレビにうつる映像がそれと一致するかどうかをキー押しで判断していただく問題です。

もう少し詳しく手順を説明します。はじめにモニターテレビに模型をどこから見るかを示す旗と矢印が示されます。まず、その位置を確認して下さい。確認して“スタート”のキーを押すか、押さなくても5秒たったら、ピーと音がなり、旗と矢印の絵が消え、モニターテレビにキャンパスの映像が出ます。それがさきほど旗と矢印で指定した位置から見える風景かどうかを判断して下さい。そして、答えが“はい”なら“はい”のキーを、“いいえ”なら“いいえ”のキーを押します。

“いいえ”になる場合は、指定された位置以外から見た風景か、その位置から見た風景を鏡に映したように反転した風景です。それ以外の場合、たとえば建物などの配置がデタラメになるような場合や、建物などの形が変わったり、増えたり減ったりすることはありません。それから、キー押しは利き手でしてください。また、“スタート”キーは親指で押すと速く押せます。キー押しにあたっては、できるだけ早く、正確に答えるようにお願いします。」

その後、立体模型などを隠していたついたてを取り除き、練習を3試行与えた後、本試行を連続して38試行実施した。38試行の内訳は、

①正像（指示された方角から実際に見える映像）……………16試行

- ②鏡像（鏡に映した時のように左右が反転した映像）…………… 8 試行
- ③前後逆像（180度反対側の位置から見える映像）…………… 8 試行
- ④自己中心像（現に被験者の位置から見える映像）…………… 6 試行

であった。これは、イエス反応率42%、ノー反応率58%に相当する割合である。また、これらの刺激の提示順序はランダム化され、順逆2通りの系列のいずれかで提示された。なお、自己中心像のみ6試行としたのは、被験者の位置からの自己中心像はその場合の正像と同一であり、被験者の位置の反対側からの自己中心像は前後逆像と同一になる関係で②や③に比べるとこの条件では2試行少なくなっているのである。

刺激の提示は、BASIC98FASTインタプリタで記述されたプログラムに従ってコンピュータで制御され、光ディスクのファイルに収納した38枚の画像を21型のディスプレイに読み出すことによって行なわれた。

被験者の反応は、コンピュータのキーボードに「イエス」または「ノー」のラベルを貼ったキーのどちらかを押すことにより行なわれた。また、その反応の種類と反応時間は、コンピュータ内部のファイルに自動的に記録されると共に、被験者から直接見えない位置に設置されたドットプリンタに打ち出された。反応時間は、コンピュータ内蔵のタイマーとBASICプログラムのループ機能を利用して計測された（なお、反応時間測定のための技術的問題については、本稿末尾の「付録」で詳しく論じたので参照のこと）。

CG 観察群：基本的な実施手順は、実物観察群と同じなので、相違点を中心に述べる。

(a)導入（実験室A）；実物観察群と同一。

(b)空間的知能の測定（実験室A）；実物観察群と同一。

(c)コンピュータ・グラフィックスによる建築模型の観察（実験室B）；実験室Aから隣室の実験室Bに移動し、コンピュータ、キーボード、および21インチCRTディスプレイを設置した机に相対して椅子に座ってもらった（図6の写真参照）。この群に対する指示は、次のようなものであった。

「これから、ある架空の大学のキャンパスをコンピュータ・グラフィックスを用いて描いたものを、モニターテレビで見させていただきます。コンピュータ・グラフィックスを見るといっても、それほど難しいことはありません。別の材料で少し練習をしてみます。

これは、ある家の絵です〔練習用のロジのCG画像を見せる〕。「←」や「→」のボタンを使うと見る方角が変わります。また、「↑」で接近し、「↓」で遠ざかります。まず、この4つのボタンのはたらきに慣れてください。

〔上記の練習が終わった後〕では、家の絵はやめて、キャンパスを見させていただきます。見る時間は全部で4分です。あとでその配置（並び方）について質問をしますので、よく見ておいてください。見る順序は自由ですが、すべての方角から1回は見るように心がけて下さい。また、“はじめ”と“やめ”の合図をしますので、それにしたがってください。〕

CGの観察中には『田園』を聞かせた。なお、「←」「→」「↑」「↓」としてキーボードのテンキーの「4」「6」「8」「2」キーを利用し、該当のラベルを貼った。

(d)再構成課題（実験室B）；被験者にモニターのCG画面が見えないようにした後、ミニチュア模型を用いてCGによって観察した建物の位置関係を再構成する課題を与えた。その手続およ

び教示は、実物観察群に準じて行なわれた。

(e)方向感覚質問紙（実験室A）；次に再び実験室Aに戻り、方向感覚質問紙20項目に記入してもらった。その手続および教示は、実物観察群と同一である。

(f)視点取得課題（実験室A）；基本的な実験手続と教示は実物観察群と同じであるが、被験者が立体模型を見るのはこの時が初めてなので「このついたての向こうに隠れているのは、さきほどコンピュータ・グラフィックスで見えていただいたキャンパスのモデルとなった模型です」と述べておいた。

VTR 観察群：基本的な実施手順は、実物観察群やCG観察群と同じなので、相違点を中心に述べる。

(a)導入（実験室A）；実物観察群などと同一。

(b)空間的知能の測定（実験室A）；実物観察群などと同一。

(c)ビデオによる建築模型の観察（実験室B）；実験室Aから隣室の実験室Bに移動し、被験者にはビデオと21インチCRTディスプレイを設置したラックを前にして、ビデオ用リモコンを手にして椅子に座ってもらった（図7の写真参照）。この群の教示は、次のようにした。

「これから、ある架空の大学のキャンパスの模型をビデオカメラで撮影したテープをモニターテレビで見させていただきます。あとでその配置（並び方）について質問をしますので、よく見ておいてください。

見る時間は4分ちょうどです。“はじめ”の合図をしたらリモコンの“プレイ”ボタンを押していただきます。

ビデオテープの収録時間は、約2分20秒です。はじめに、最初から終わりまでテープの内容を一通り見て下さい。そして、残りの時間は「巻き戻し」「一時停止」「早送り」などのボタンを使って自由に見てください。4分たったところで“やめ”の合図をします。

リモコンのボタンの使い方について、わからなければ今のうちに聞いておいてください。」

その他の手続は、実物観察群などと同一である。

(d)再構成課題（実験室B）；被験者にビデオの画面が見えないようにした後、ミニチュア模型を用いてビデオで見た建物の位置関係を再構成する課題を与えた。その手続および教示は、実物観察群に準じて行なわれた。

(e)方向感覚質問紙（実験室A）；次に再び実験室Aに戻り、方向感覚質問紙20項目に記入してもらった。その手続および教示は、実物観察群と同一である。

(f)視点取得課題（実験室A）；基本的な実験手続と教示は実物観察群と同じであるが、CG観察群と同じく被験者が立体模型を見るのはこの時が初めてなので「このついたての向こうに隠れているのは、さきほどビデオで見えていただいたキャンパスの撮影のモデルとなった模型です」と述べておいた。

統制群：この群は、事前の観察をせずに直接視点取得課題を行なわせるコントロール条件を割り当てた。その点と、再構成課題を視点取得課題の後で実施する点が他の3群との大きな違いであるが、その他の基本的な実施手順は実物観察群などと同一なので、相違点のみについて述べる。

(a)導入（実験室A）；実物観察群などと同一である。

(b)空間的知能の測定（実験室A）；実物観察群などと同一である。

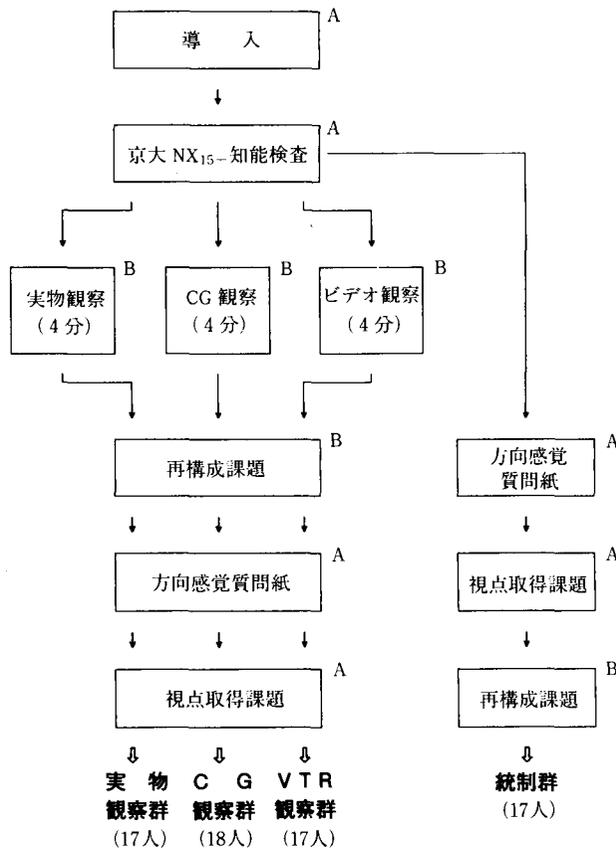


図8 各群の実験の実施手順 (A, Bは実験室の種類を示す)

(c)方向感覚質問紙 (実験室A) ;引き続き方向感覚質問紙20項目に記入してもらった。その手続および教示は、実物観察群など同一である。

(d)視点取得課題 (実験室A) ;基本的な実験手続と教示は実物観察群と同じであるが、CG観察群・VTR観察群と同じく被験者が立体模型を見るのはこの時が初めてなので、最初に「このついたての向こうに隠れているのは、ある大学のキャンパスです」と述べておいた。

(e)再構成課題 (実験室B) ;最後に、実験室Bに移動し、ミニチュア模型を用いて視点取得課題で見た建物の位置関係を再構成する課題を与えた。その手続および教示は他群に準ずるものであった。

以上、4群の実験手続を詳しく説明してきたが、念のため各群の実験手順の流れ図を図8として示しておく。

表1 京大NX₁₅-知能検査による群間の等質性の検定

| 群 | N | 重合板 | | 折り紙パンチ | | 図形分割 | |
|--------|----|-------------|------|-------------|------|-------------|------|
| | | 平均 | SD | 平均 | SD | 平均 | SD |
| 実物観察群 | 17 | 7.41 | 2.52 | 6.24 | 1.35 | 7.71 | 2.57 |
| CG観察群 | 18 | 6.67 | 1.37 | 6.33 | 1.37 | 8.61 | 3.27 |
| VTR観察群 | 17 | 6.53 | 1.28 | 6.00 | 1.37 | 8.64 | 2.73 |
| 統制群 | 17 | 7.00 | 2.35 | 6.71 | 1.31 | 8.35 | 3.32 |
| 分散分析結果 | | F=0.69, NS. | | F=0.80, NS. | | F=0.36, NS. | |

表2 方向感覚質問紙による群間の等質性の検定

| 群 | N | 第1因子 | | 第2因子 | |
|--------|----|-------------|------|-------------|------|
| | | 平均 | SD | 平均 | SD |
| 実物観察群 | 17 | 27.88 | 8.71 | 25.00 | 5.69 |
| CG観察群 | 18 | 31.72 | 9.89 | 28.94 | 8.22 |
| VTR観察群 | 17 | 28.88 | 9.52 | 26.00 | 5.53 |
| 統制群 | 17 | 34.12 | 7.79 | 30.00 | 6.18 |
| 分散分析結果 | | F=1.67, NS. | | F=2.26, NS. | |

〔註〕方向感覚質問紙の第1因子は「方位と回転」に関する項目、第2因子は「記憶と弁別」に関する項目を表わす（竹内, 1990）。分散分析の自由度は、共に（3, 65）である。

結 果

群間の等質性

はじめに、実物観察群・ビデオ観察群・CG観察群・統制群の4群間の等質性のチェックを京大NX₁₅-知能検査の「重合板」「折り紙パンチ」「図形分割」の3つの下位検査の得点に基づいて行なった。

表1に示したように、3つの下位検査のすべてにわたって4群の平均正答数の差は統計的に有意でなく、群間の等質性が一応保証された。なお、京大NX₁₅-知能検査の手引によれば、重合板の正答数7点はこの下位検査の偏差値が61に、折り紙パンチの正答数6点は偏差値が57に、図形分割の正答数8点は偏差値が60にそれぞれ換算されるものである。

次に、方向感覚質問紙の結果についても4群間の等質性の検討を行なった。竹内（1990）は、大学生110名を対象に行なったデータの因子分析の結果から2つの因子を抽出した。第1因子は「知らない土地に行くと、途端に東西南北がわからなくなる」「ホテルや旅館の部屋に入ると、その部屋がどちら向きかわからない」など10項目からなり「方位と回転」因子と命名された。また、第2因子は「何度も行ったことのあるところでも目印になるものをよく憶えていない」「住宅地で同じ様な家がならんでいると、目的の家がわからなくなる」など10項目からなり「記憶と弁別」因子と名づけられた。この2つの因子のそれぞれについて4群間の差を調べたものが表2

表3 再構成課題における再構成得点と再構成時間の群差

| 群 | 再構成得点 | | | 再構成時間 | | |
|--------|----------------------|-------|------|-----------------|--------|-------|
| | N | 平均 | SD | N | 平均 | SD |
| 実物観察群 | 17 | 17.06 | 3.93 | 17 | 97.35秒 | 54.96 |
| CG観察群 | 18 | 16.28 | 3.56 | 18 | 118.61 | 45.59 |
| VTR観察群 | 17 | 14.24 | 4.82 | 17 | 117.94 | 57.04 |
| 統制群 | 17 | 11.59 | 3.64 | 16 | 105.12 | 49.35 |
| 分散分析結果 | $F = 6.36, p < .001$ | | | $F = 0.68, NS.$ | | |

〔註〕再構成得点の上限は22点である。また、分散分析の自由度は、再構成得点で(3, 65)、再構成時間で(3, 64)である。

である(平均点が低いほど方向感覚が良いことを示す)。分散分析の結果、両因子とも平均値の差は有意でなく、方向感覚に関しても群間の等質性が確認された。

再構成課題

再構成課題の結果は、次のように得点化した。提示した立体建築模型には、建物や駐車場など11の要素が含まれていたが、この各要素の位置関係と向きに着目し、「位置・向きとも正解」に2点、「位置のみ正解」に1点、「位置の誤り」や「どこにも置かない」反応を0点として計22点満点で採点した。これを以後「再構成得点」と呼ぶことにする。得点化は、被験者の再構成結果を写真で記録したものについて、筆者ら2名が独立して採点した後、その結果をつきあわせて一致しない部分については合議で決定した。

この結果は、表3の「再構成得点」の欄に示される。一要因分散分析の結果、再構成得点の間に有意な群差が認められた。「ステューデント-ニューマン-クルズの検定」に基づく下位検定を施した結果、統制群と実物観察群の間、および統制群とCG群の間に有意差(危険率5%水準)が見られた。VTR群は統制群との差がなく、再構成に及ぼす効果は実物観察群やCG群よりも小さかった。

次に、ストップウォッチで計測した再構成時間の差についても検討したが、その平均値には有意な群差が見られなかった(表3の右側の「再構成時間」欄参照)。

視点取得課題

視点取得課題の結果は、キー押しの正答率と、刺激提示からキー押しまでの正反応時間(反応時間は正答の場合のみを取り出し、誤答の反応時間は除外した)の2つの測度によって分析した。

まず、正答率について見ると(表4の「正答率」の欄を参照)、どの群も正答率が92%前後と高く、分散分析の結果からも群差が有意でないことが確認された。

次に、視点取得課題の正反応時間については、どの群も平均2000ミリ秒(2秒)前後であり、統計的に有意な群差は見られなかった(表4の「正反応時間」の欄を参照)。そこで、4群を込みにして刺激条件の差を見たのが図9である。提示刺激は正像、鏡像、前後逆像、自己中心像の4条件から成り立っていた。この図は、各条件(N=69)ごとの平均反応時間を調べたものであ

表 4 視点取得課題における正答率と正反応時間の群差

| 群 | 正答率 | | | 正反応時間 | | |
|-----------|-------------|-------|-------|-------------|------------|--------|
| | N | 平均 | SD | N | 平均 | SD |
| 実物観察群 | 17 | 0.933 | 0.056 | 17 | 2289.1msec | 1177.6 |
| C G 観察群 | 18 | 0.915 | 0.082 | 18 | 1927.2 | 838.3 |
| V T R 観察群 | 17 | 0.930 | 0.052 | 17 | 1993.4 | 752.9 |
| 統制群 | 17 | 0.929 | 0.067 | 17 | 2237.6 | 752.7 |
| 分散分析結果 | F=0.27, NS. | | | F=0.69, NS. | | |

〔註〕分散分析の自由度は共に（3，65）である。

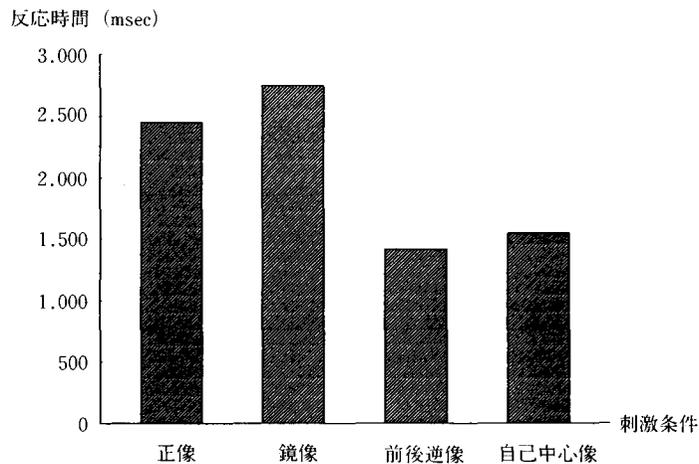


図 9 視点取得課題における刺激条件別平均反応時間 (N=69)

正像16試行，鏡像8試行，前後逆像8試行，自己中心像6試行のそれぞれの平均値を示すものである。正像のみ「イエス」、他は「ノー」のキー押しが正解となる。

る。分散分析の結果は、 $F(3,204) = 48.53, p < .0001$ となった。そこで「ステューデント・ニューマン・クルーズの検定」に基づく下位検定を施した結果、前後逆像と自己中心像の間を除くすべての対において、5%水準以下の危険率で有意差が見られた。

一般に、2つのものを照合する課題では、「ノー」判断よりも「イエス」判断の方が反応に時間がかかると考えられる。何故なら、合っていない場合は一か所でも違いがあれば即座に分かるが、合っている時にはそのことを全体的に確認しなければならないからである（ただし、知覚マッチング課題の多くでは「ノー」判断よりも「イエス」判断の方が速いという速「同」効果の現象が知られている。この点については、大岸（1986）の議論を参照）。図9においても、「ノー」判断を要求する前後逆像と自己中心像の反応時間よりも、「イエス」判断を要求する正像の反応時間が有意に長く、この傾向が見られているが、鏡像は例外的に反応時間が長くなっている。また、鏡像の反応時間が最も長いという本研究のデータは、Walsh *et al.*（1981）の結果を追認するものであった。

表5 指標間の相互相関係数(ピアソンのr)

| 指標 | 正像 | 鏡像 | 前後 逆像 | 自己 中心像 | 再構成 得点 | 再構成 時間 | 重合板 | 折り紙 パンチ | 図形 分割 | 方向 感覚1 | 方向 感覚2 |
|--------|--------|--------|----------|-----------|-----------|-----------|------|------------|----------|-----------|-----------|
| 正像 | 1.00 | | | | | | | | | | |
| 鏡像 | .58*** | 1.00 | | | | | | | | | |
| 前後逆像 | .53*** | .53*** | 1.00 | | | | | | | | |
| 自己中心像 | .57*** | .69*** | .58*** | 1.00 | | | | | | | |
| 再構成得点 | -.11 | -.05 | .01 | -.27* | 1.00 | | | | | | |
| 再構成時間 | .17 | .18 | .09 | .01 | -.20 | 1.00 | | | | | |
| 重合板 | -.10 | -.28* | -.39*** | -.33** | -.16 | -.20 | 1.00 | | | | |
| 折り紙パンチ | -.26* | -.19 | -.16 | -.27* | -.01 | -.20 | .29* | 1.00 | | | |
| 図形分割 | -.31** | -.21 | -.16 | -.28* | -.07 | -.03 | .07 | .27* | 1.00 | | |
| 方向感覚1 | -.05 | -.11 | -.08 | -.19 | -.32* | .13 | -.02 | -.01 | .03 | 1.00 | |
| 方向感覚2 | -.16 | -.17 | -.17 | -.17 | -.38** | .13 | .07 | -.00 | .12 | .73*** | 1.00 |

(註) 1. 正像・鏡像・前後逆像・自己中心像は、視点取得課題での正反応時間を示す。
 2. 方向感覚1は「方位と回転」、方向感覚2は「記憶と弁別」を表わす。
 3. 表中の「*」記号は相関の有意性の検定における危険率であり、*は $p < .05$ 、**は $p < .01$ 、***は $p < .001$ を表わしている。

指標間の相関関係の分析

視点取得課題の正像・鏡像・前後逆像・自己中心像の各条件の正反応時間、再構成課題の正答率(再構成得点)と再構成に要した時間(再構成時間)、重合板・折り紙パンチ・図形分割の3つの下位検査の得点、および方向感覚質問紙の2尺度(方向感覚1, 2)について、相互相関係数を計算した結果が表5に示される。

この表から、まず視点取得課題の4つの刺激条件間相互に有意な正の相関(.53~.69)を読み取ることができる。刺激条件が異なっても、視点取得課題としての情報処理の共通性があったと考えられよう。

次に、再構成得点と再構成時間については、他の指標との相関が概して低いが、再構成得点と自己中心像の間に一応有意な負の相関値(-.27)が見られた。これは、再構成得点の高い者は自己中心像での反応時間が短い(速い)傾向にあることを示すものである。

京大N X₁₅-知能検査の下位検査間の相関は、重合板と図形分割の間以外で一応認められた。またこの3つの下位検査と視点取得課題の4刺激条件の間の相関は、すべてマイナスの値であった。これは、空間的知能が高いほど視点取得課題での反応時間が速い傾向にあることを意味するものである。特に、自己中心像の反応時間では、3つの下位検査すべてにわたって有意な負相関が一応確認された。このことは、脱中心化(現在の自分の視点にとらわれずに考えること)と空間的知能の関連性をおぼろげながらに示しているように思われる。

方向感覚質問紙については、両尺度とも再構成得点との間に有意な負相関(-.32と-.38)が見出された。この質問紙では、得点が低いほど方向感覚が良いことを示すので、方向感覚の良さと再構成課題の成績との間に関連性があることが示されたと言えよう。なお、方向感覚1(「方位と回転」因子)と方向感覚2(「記憶と弁別」因子)の間に.73という高い正の相関があったことは、本研究のデータでは両尺度が必ずしも独立ではないことを示唆している。

考 察

本研究では、空間関係の認知に及ぼす映像情報の提示様式の効果調べるために、実物観察群・ビデオ観察群・CG観察群および統制群の4群を設けて、再構成課題と視点取得課題の結果を比較する実験を行なった。

視点取得課題では、正答率および反応時間も4群間に有意な差は見られなかった。先行研究のWalsh *et al.* (1981)のデータでは、移動観察群の方がビデオ視聴群よりも有意に成績が良いという結果であった。この研究と本研究の違いはどこにあるだろうか。第一には、Walsh *et al.* (1981)の研究では、住民台帳を基礎としたランダム・サンプリングにより選定された一般の老人が被験者であり、被験者の個人差が大きいと推定される。これに対し、本実験の被験者は空間的知能の得点分散(表1のSD欄)を見ても分かるように、比較的個人差が小さい集団である。第二としては、Walsh *et al.* (1981)の研究で用いられたビデオ視聴群のビデオ映像の内容は「自動車または徒歩による空間の移動」(349ページ)のシミュレーション画像なので、建築空間全体の俯瞰図は与えられておらず、しかも途中のプレイバックなしに見る条件であるので、本研究の場合とは提示様式・提示内容ともに大きな相違があると考えられる。

次に、再構成課題の結果では、群差は再構成得点のみにあらわれた。具体的には、統制群と実物観察群の間、および統制群とCG観察群の間に有意な得点差が見られた。また、VTR観察群は統制群との差がなく、再構成に及ぼす効果は実物観察群やCG観察群よりも小さいという結果になっている。Walsh *et al.* (1981)の研究では、移動観察群の方がビデオ視聴群よりも有意に再構成の成績が良いという結果が得られ、この点についても本研究の結果は異なっている。

以上の結果から、映像情報の提示様式の効果についてどのようなことが言えるのであろうか。筆者らは「問題」の項において、実物とビデオ映像・CG映像との違いを作り出す要因として、身体-運動感覚要因、情報の時系列的制約要因、情報の質感要因という3つの仮説をあげた。はじめに、本研究においてこれらの要因がどのように処理または統制されたかについて振り返ってみよう。

本研究では、実物観察群とCG観察群・VTR観察群の提示情報ができるだけ等しくなるような材料作成につとめた。具体的には、提示刺激の形・色・布置、観察する方角、観察する時間がなるべく同一になるようにした。また、「実物」観察といっても実際に用いた材料は紙製の模型であり、その意味からも3群(実物観察群、CG観察群、VTR観察群)の情報の質感要因の差は、かなり小さくなったと思われる。再構成得点を除く指標で群差が見られなかったことは、ある意味ではパラレルな情報の提示に成功したと解釈できるのかもしれない。

ただし、再構成得点については、実物観察群と統制群の差、およびCG観察群と統制群の差は統計的に有意であったが、VTR観察群と統制群の差は有意ではなかった(表3参照)。この差は、あるいは情報の時系列的制約要因によって解釈可能であるかもしれない。すなわち、実物観察条件では、8か所のどこかから立体模型を観察するように求められたが、それ以外の身体移動はまったく自由であった。被験者に対する事前の教示の中で「模型を見る位置は、床にテーブルの印のあるところに限ります。途中では立ち止まらないでください」という指示を与えはしたが、実際に

は8か所の観察位置以外からの様子が被験者の目に入ったことは間違いない。

本研究の実験計画の段階で、実物観察群も観察位置の8か所以外からは立体模型を見ることができないように、全体を何かで覆って観察位置のみ覗き穴を設けるような方法や、立体模型を回転台に乗せ覗き穴から見た実物が回転して位置を変えるようにする方法なども検討したが、観察状況が余りにも不自然すぎると思われたので、今回はそれらの方法を取らなかった。

また、CG観察群では、8方向×3距離の24のフレームがキー押しによって連続的に観察できる条件であるが、途中の様子は観察できなかった。できれば完全に連続して動くフル・カラーのCGを作りたかったのであるが、技術上の制約のためにこのような観察条件にしたものである。しかし、CG観察群はVTR観察群に比べると時系列的制約要因の影響が少なく、かなり自由に画像を動かすことが可能であった。これに対し、VTR観察群はテープという媒体の制約から、他の2群ほどには自由に観察できなかったものと思われる。以上のような違いが表3の結果をもたらしたと断定することはできないが、可能性としては十分考えられる。

では、残る身体-運動感覚要因についてはどうであろうか。実物観察群では身体移動とともに被験者の網膜像が変化するが、CG観察群とVTR観察群ではキーボードのキーまたはリモコンのボタン押しによって網膜像が変化するだけで、身体移動はまったく付随しない（その他、実物観察群では立体模型を見る時の参照枠ないし背景が存在したが、CG観察群とVTR観察群ではそのことが明確ではないという違いもあった）。もし、このような身体-運動感覚要因が有効であったとしたならば、実物観察群とCG観察群・VTR観察群との間に何らかの差が生ずるはずであるが、そのような差は再構成課題でも視点取得課題でも見られなかった。身体-運動感覚要因がまったく関与しなかったとすることはできないが、本実験ではその要因の影響は比較的小さかったとみなすことができよう。

次に、今後の研究の発展方向について考えてみたい。第一の検討事項は、映像のランダム・アクセス性の問題である。ランダム・アクセス性のなさは、テープという媒体に依存するビデオシステムの本質的な限界であると考えられる。現在でもVHS規格のビデオでは、ステップ指定式のVISS (VHS index search system) や、番地指定式のVASS (VHS address search system) のようなテープの頭出し機構が実用化されているが、再生ヘッドとテープの動作速度を考えると、ランダム・アクセスとは程遠いものである。映像のランダム・アクセス性という点では、ビデオよりもむしろCD-Iに大きな将来性が期待されている(江木・山形, 1989; 山形, 1989)。CD-Iは、CD-ROMの技術を拡張してそれをインタラクティブ(interactive)にしたものと考えればよいが、現時点ではまだ普及の段階に達していない。CGの提示では、フロッピーディスクやハードディスクのような外部記憶装置を用いた場合でも既にランダム・アクセスの壁をある程度クリアしており、実用性が高い。このことを考えあわせると、本稿の冒頭に述べた映像の限界というものもその様態が少しずつ変化しているのであり、今後はもっと様々な可能性を追求するような研究が望まれるのである。

第二の検討事項は、空間関係の認知をどのような心理学的指標で捉えるかの問題である。本研究では、Walsh *et al.* (1981)と同様に再構成課題と視点取得課題を用いた。勿論これ以外にも様々な心理学的指標があるので、どういう指標が適切かについての検討を深める必要があるだろう。本実験の後、参考までに描画再生法によってデータをとってみた。具体的には、17人の大学

生（男子12人，女子5人）に本研究で用いたキャンパスの立体模型を約1分30秒間自由に観察してもらい，その後別室でB5判大の白紙に絵を描いて再生してもらった。得点化は，11の建物についておよその形と位置が書けていれば1点を与えるという形式で11点満点で行なった。その結果，満点の11点が12人，10点が4人，9点が1人となり，天井効果が見出された。描画再生法では何を正答とするかが曖昧になり，位置と向き of 2次元で正確に捉える再構成課題よりも点数が甘くなるように見受けられた。今後は，空間関係の認知をどのような心理学的指標で捉えるかについての方法論に関する更につっこんだ研究が必要のように思われる。

【付 記】

本研究は，平成2年度文部省科学研究費補助金一般研究(c)〔課題番号02801015〕に基づくものである。また，本研究の一部は，日本心理学会第55回大会（1991年，東北大学）で発表された。

実験の実施にあたって，坂本美紀氏（京都大学大学院教育学研究科在学）に実験者の役割を担当していただいた。ここに記して感謝申しあげたい。

文 献

- Cox, M.V. 1980 Visual perspective-taking in children. In M.V.Cox (Ed.), *Are young children egocentric?* Batsford Academic and Educational Ltd. pp.61-79.
- 江木康雄・山形潔 1989 CD-I とソフトウェア. 渡邊茂・坂元昂 (監修), 『CAIハンドブック』, フジ・テクノシステム. pp.847-852.
- 服部桂 1991 人工現実感の世界. 工業調査会.
- 加藤健二 1986 視点変換課題の分析——迷路学習成績との関連性——. 日本心理学会第50回大会発表論文集, 229.
- 加藤健二 1989 Cognitive mapping と視点変換——マイコン・グラフィックスを用いた迷路学習課題と視点変換課題の遂行成績の関係. 東北学院大学論集 (人間・言語・情報), 94, 1-15.
- 子安増生 1990 幼児の空間的自己中心性 (I) ——Piaget の3つの山問題とその追試研究——. 京都大学教育学部紀要, 36, 81-114.
- 子安増生 1991 幼児の空間的自己中心性 (II) ——Piaget の3つの山問題の関連実験と理論的考察——. 京都大学教育学部紀要, 37, 124-154.
- 三輪修 (監修) 1992 CG 夢博物館. 富士通経営研修所.
- 大岸通孝 1986 異同判断認知課題における速「同」効果の考察. 金沢大学教養部論集・人文科学, 24 (2), 33-53.
- Piaget, J., & Inhelder, B. 1948 *La representation de l'espace chez l'enfant*. Presses Universitaires de France. (Translated by F.J. Langdon & J.L. Lunzer, "The child's conception of space." Routledge & Kegan Paul, 1956.)
- 館暲・廣瀬通孝 (監修) 1992 バーチャル・テック・ラボ——「超」現実への接近. 工業調査会.
- 竹内謙彰 1990 「方向感覚質問紙」作成の試み(1)——質問項目の収集および因子分析結果の検討——. 愛知教育大学研究報告, 39, 127-140.
- Walsh, D.A., Krauss, I.K., & Regnier, V.A. 1981 Spatial ability, environmental knowledge, and environmental use: The elderly. In L.S.Liben, A.H. Patterson, & N. Newcombe (Eds.), *Spatial representation and behavior across the life span*. Academic Press, pp.321-357.
- 山形潔 1989 CD-I 規格 (グリーンブック) の概要. 渡邊茂・坂元昂 (監修), 『CAIハンドブック』, フジ・テクノシステム. pp.831-846.

付 録

パーソナルコンピュータでの反応時間の測定精度について

本実験は、反応時間測定に Basic (BASIC 言語) のループを利用している。小田 (1985) が指摘しているように、ループを用いた時間測定には精度上いくつかの問題が存在する。しかし、Basic は理解が容易で広く普及した言語であり、ループを用いれば他の方式にくらべ簡単な原理で測定が可能である。したがって初心者にも比較的簡単にプログラムを組むことができる。その結果、心理学の実験という本来の目的とは無関係なソフトやハードの作製という不毛な労力から、コンピュータに詳しくない実験者を多少なりとも解放することができる。精神物理学などのような高い精度の要求される実験以外では、この方式で十分な測定が可能ではないかと思われるが、そのことを確認するため、本実験ではこの方式の精度も検討した。

本実験では、ループの内側にキー入力判定部分と TIME \$ 関数判定部分を持ったサブルーチンと呼び出すことで反応時間の測定を行った。キー入力があった場合か、TIME \$ 関数で10秒間ループを実行した場合にループから抜け、ループ数を記録する仕様とした。そしてこのサブルーチンを実験の実験プログラムに内蔵し、実験開始時に10秒間ループを実行させ、実験を実施している状態で、1ループにかかる時間を計算した。この値をもとに実験中は同一のルーチンで反応時間を測定した。ループにかかる時間を変化させる要因としてはCPUやクロックなどのハードウェアの違いと、常駐プログラムの有無、プログラムのサイズ、配列サイズなどによるメモリの状態の違いが考えられるが、実際の実験プログラム実行中にループ所要時間を測定することでこれらの問題はかなり回避できる。

小田 (1985) は、ループにキー入力判定部分だけをさみ回帰直線からループ所要時間を計算するプログラムを紹介しているが、本実験の方式なら回帰計算は必要ない。ただし10秒あたりのループ数を測定するためにしか利用しない TIME \$ 関数の判定を、1ループごとに必ず実行してしまうため1ループにかかる時間は増加してしまい測定の最小単位としての精度が低下する。本実験では NEC PC-9801M (i8086, 8MHz) 上で BASIC98 インタープリタで実行し、1ループ所要時間は約 9.90msec であった (これに対し小田のプログラムは同一のハード上で N88Basic で実行した場合、1ループ 2.58msec と紹介されている)。この精度を高めるためには高速な CPU を使用することが確実な方法である。実験プログラムを NEC PC-9801DA (i80386DX, 20MHz) で実行したところ、1ループ 2.06msec となった。高速な CPU を使うとキャッシュメモリで問題が生ずる可能性もあるが、キー入力の判定やループからの脱出などの命令実行にかかる時間が短くなり精度は高くなる。これらの要因は実験内ではほぼ均一にかかる遅れであるため、他の実験の数値と比較しない限り大きな問題とはならないが、可能な限り小さな値であることが望ましい。この点に関しては後述のタイマ LSI などによる時間の測定でも共通である。また、コンパイラの使用でも速度を高めることができる。

参考までに、C 言語で作成したタイマ LSI 制御プログラムを使い、Quick Basic インタープリタでのループ時間を測定した (i80386DX, 20MHz)。その結果10秒ループから逆算した1ループ所要時間は 2.00msec で、タイマ LSI を用いた測定値 1.88msec とほとんど差は見られなかった。

また CPU にかかる割り込みのなどのために、1ループ所要時間が安定しない可能性を考え、10秒ループによるループ数の測定を100回行った。PC-9801M では10秒間のループ数は1005になったのが

2回, 1006が86回, 1007が12回, また同 DA では4864が33回, 4865が63回, 4866が3回, 4869が1回それぞれ実測された。このように, 測定の安定性という点からの精度に関しても実用上問題は少ないと思われる。

以上のように本実験で測定される程度のオーダーの反応時間の測定に関しては, Basic のループ利用が十分可能であろうと考えられる。他にもすべて Basic で記述されたプログラム例としては10msec 単位で測定可能とした例(安田, 1988)があるので参照されたい。

PC-9801シリーズ上で msec 単位の高い精度の時間制御をソフトウェアのみで実現するためには, タイマ LSI (μ PD8253C) を利用するのが最も望ましい。しかしこれを Basic から直接制御するのは難しく, C やアセンブラの利用が望ましい。またハードウェアに関する知識も要求されるため, 初心者が自分でプログラムするのは困難であるが, 文献としては藤島(1990)が参考になる。また, 船川(1988)に紹介されているマシン語サブルーチンなら, N88Basic から直接利用することもできる。PC-98シリーズを用いて心理学実験を行う際には, 時間制御やディスプレイなどに多くの問題点があるが, これらは阿部(1988)の編書に詳しい。

文 献

- 阿部純一(編) 1988 パーソナルコンピュータによる心理学実験プログラミング。ブレーン出版。
- 藤島直樹 1990 タイマ/カレンダーと割り込み。Value up, 3月号, 55-59。
- 船川政美 1988 実験制御技法とマシン語サブルーチン・プログラム集—PET—。阿部純一(編), パーソナルコンピュータによる心理学実験プログラミング, ブレーン出版, pp.73-212。
- 小田浩一 1985 パソコンによる実験の注意点。中谷和夫(監修)「パーソナルコンピュータによる心理学実験入門」, ブレーン出版, pp.235-244。
- 安田充久 1988 B A S I C で書かれたリアルタイムカウンタ・インターバルタイマ。The BASIC, 6月号, 152-155。